



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UniCEUB  
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA – FAET  
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO  
PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO**

# **SISTEMA DE MONITORAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA RESIDENCIAL UTILIZANDO UM COMPUTADOR E O MICROCONTROLADOR PIC16F628A**

**ALUNO: RICARDO DA SILVA FLORES**

**BRASILIA, 2007**

**RICARDO DA SILVA FLORES**

**SISTEMA DE MONITORAÇÃO DO CONSUMO DE  
ÁGUA RESIDENCIAL UTILIZANDO UM  
COMPUTADOR E O MICROCONTROLADOR  
PIC16F628A**

Orientador: Prof. M.C. Maria Marony Sousa  
Farias Nascimento.

Monografia apresentada ao Centro  
Universitário de Brasília -- UniCEUB.  
Faculdade de Ciências e Tecnologia – FAET,  
para obtenção do Título de Bacharel em  
Engenharia da Computação.

Brasília – DF, julho de 2007.

## DEDICATÓRIA

*“Ao meu falecido Pai.”*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, o grande Engenheiro detentor da Cosmo-Energia responsável por nossa existência,

À minha mãe – Margarida da Silva Flores – e meus irmãos que sempre estiveram, na alegria e na tristeza, presentes a cada momento da minha vida,

Ao professor co-orientador Carmo Gonçalves, pela sua motivação e essencial ajuda nas questões relacionadas à teoria de mecânica dos fluidos,

À professora orientadora Maria Marony Sousa Farias Nascimento, pelos valiosos encontros, debates e fieis orientações; além de mostrar o caminho mais curto para o término desta monografia,

A todas as demais pessoas que me ajudaram nessa monografia fica o meu muito obrigado!

## RESUMO

Durante milênios, o homem acreditou que a água fosse um recurso inesgotável. Há algumas décadas, a humanidade tem despertado para a dura realidade de que, ante a má utilização, da poluição e da superexploração, esse recurso natural está se tornando escasso. Como forma a contribuir para o uso racional deste recurso tão primordial à sobrevivência humana, neste trabalho é apresentado um projeto que tem o objetivo tornar o consumo de água mais racional, sobretudo o residencial. No projeto desenvolvido, o hardware é composto por microcontrolador que recebe pulsos elétricos enviados por um medidor de vazão. Devido a limitações orçamentárias, o sensor que seria utilizado para medir a vazão foi substituído por um gerador de pulsos. Tais pulsos são proporcionais à vazão de água da rede hidráulica. Estes pulsos são tratados no microcontrolador e enviados a uma porta serial. Foi desenvolvido um software – utilizando o *MATLAB®* – responsável por fazer a leitura dos dados da porta serial, enviados pelo hardware proposto. A finalidade deste é mostrar para o usuário, através de uma interface gráfica, os horários de maior consumo de água, a quantidade consumida num período de um dia, semana ou mês, bem como o consumo ideal a ser gasto diariamente, dentre outras possibilidades.

**Palavras-Chave:** Medidor de Vazão, Fator K, PIC16F628A, 2536 *Rotor-X Flow Sensor*, *Proteus®*, *MATLAB®*.

## ABSTRACT

For millenniums humanity believed that water was an inextinguishable resource. During the past decades, mankind has awakened for the rough reality that facing misuse, pollution and overexploitation of such natural resource will lead to its scarcity. In order to contribute to an efficient use of it, which is indispensable to human existence, this work presents a project that will enlighten about water consumption, overall the household sector. The current project will illustrate a hardware that is composed of a microcontroller, which receives electrical pulses from a flow sensor. Due to budget limitations, a pulse generator substituted the sensor that was going to be utilized to measure the flows. Those pulses are proportional to the hydraulic power transmission's water flow. The pulses are analyzed in the microcontroller and then sent to a serial port. Using MATLAB®, a software was developed to analyze the data coming from the serial port. The main goal of this paper is to show the user, through a graphic interface, the periods that comprise consumption peaks, the amount of water consumed in a day, week or month, as well as the ideal consumption level to be spent on a daily basis, among other features. In summary, the following work moves towards achieving responsible and rational water consumption.

**Palavras-Chave:** *Flow Sensor, Factor K, PIC16F628A, 2536 Rotor-X Flow Sensor, Proteus®, MATLAB®.*

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	IX
LISTA DE TABELAS .....	XI
LISTA DE SIGLAS .....	XII
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....	1
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DE MECÂNICA DOS FLUIDOS..	3
2.1. CONCEITOS BÁSICOS DE MECÂNICA DOS FLUIDOS.....	3
2.1.1    Fluidos .....	3
2.1.2.    Descarga .....	3
2.1.3.    Vazão.....	4
2.2.    NÚMERO DE REYNOLDS .....	5
2.3.    FLUIDOS COMPRESSÍVEIS E INCOMPRESSÍVEIS .....	5
2.4.    CLASSIFICAÇÃO DE ESCOAMENTO .....	6
2.4.1.    Escoamento Unidimensional .....	6
2.4.2.    Escoamento Laminar .....	6
2.4.3.    Escoamento Turbulento.....	7
2.5.    VISCOSIDADE .....	8
2.6.    ESCOAMENTO EM TUBOS.....	11
2.6.1.    Perdas de Cargas .....	12
2.6.2.    Cálculo do Diâmetro das Tubulações.....	13
2.6.3.    Tubos e tubulações .....	15
2.7.    TIPOS DE MEDIDORES DE VAZÃO.....	15
CAPÍTULO 3 – ESPECIFICAÇÕES DE MEDIDORES .....	18
3.1.    CONCEITO DE SISTEMA DE MEDIÇÃO .....	18
3.2.    CARACTERÍSTICAS DE SISTEMA DE MEDIÇÃO .....	19
3.2.1.    Natureza da aplicação e do local .....	19
3.2.2.    Características físicas, químicas e biológicas do fluido .....	19
3.2.3.    Resultados desejados.....	20
3.2.4.    Elementos econômicos e garantias.....	20
3.2.5.    Fornecedores .....	20
3.3.    CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO	21
3.4.    FUNCIONAMENTO DOS MEDIDORES DE VAZÃO .....	23
3.5.    FATOR K .....	23
3.6.    MEDIDORES DE VAZÃO .....	23

	VIII
3.7. DESCRIÇÃO DO MEDIDOR UTILIZADO .....	25
3.7.1. Características Importantes do Medidor Utilizado.....	27
3.7.2. Aplicações Mais Utilizadas.....	27
3.7.3. Posição de Montagem do Sensor .....	27
3.7.4. Posição do Acessório.....	28
3.7.5. Fator K do Medidor Utilizado .....	29
CAPÍTULO 4 – HARDWARE.....	30
4.1. MICROCONTROLADORES PIC .....	30
4.1.1. Microcontrolador PIC16F628A .....	30
4.2. COMUNICAÇÃO SERIAL .....	32
CAPITULO 5 – SOFTWARES.....	33
5.1. MPLAB® .....	33
5.2. COMPILADOR CCS C.....	33
5.3. PROTEUS®.....	34
5.4. MATLAB®.....	35
5.4.1. Interface GUI .....	37
CAPÍTULO 6 – IMPLEMENTAÇÃO (VALIDAÇÃO).....	39
6.1. MONTAGEM DO CIRCUITO NO SIMULADOR.....	39
6.2. MONTAGEM FÍSICA DO CIRCUITO.....	40
6.3. CRIAÇÃO DO PROGRAMA DE INTERPRETAÇÃO DOS PULSOS .....	40
6.4. TESTES .....	43
6.4.1. Dados Reais .....	44
6.4.2. Dados simulados .....	47
6.5. GRÁFICOS DO CONSUMO DE ÁGUA .....	51
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÃO.....	55
REFERÊNCIAS.....	57
ANEXO A – Descrição dos pinos - PIC16F628A.....	60
ANEXO B – Descrição dos pinos MAX232 .....	62
ANEXO C – Componentes do medidor digital.....	64
ANEXO D – Folha de dados do medidor de vazão 2536 Rotor-x Flow Sensor....	65
APÊNDICE E – Fotos do Protótipo montado.....	68
APÊNDICE F – Código fonte do pic.....	72
APÊNDICE G – Código fonte do Matlab .....	81



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Escoamento laminar.....	7
Figura 2.2 – Escoamento Turbulento. ....	8
Figura 2.3 – Diagrama Reológico.....	9
Figura 2.4. – Possível Classificação da Mecânica dos Fluidos Contínuos.....	11
Figura 2.5 – Medidor do tipo Turbina. ....	16
Figura 2.6 – Medidor Eletromagnético. ....	17
Figura 3.1 – Medidor Tipo Turbina. ....	24
Figura 3.2 – Medidor Digital. ....	25
Figura 3.3 – Medidor de Vazão tipo Rotor Magnético. ....	26
Figura 3.4 – Unidade Eletrônica. ....	26
Figura 3.5 – Posição de Montagem do Sensor. ....	28
Figura 3.6 – Posição do Acessório.....	28
Figura 4.1. PIC16F628A.....	31
Figura 4.2. MAX232. ....	32
Figura 5.1. Calculadora Simulada no Proteus®. ....	34
Figura 5.2. – Tela do <i>MATLAB</i> ®. ....	35
Figura 5.3 – Gráfico gerado no <i>MATLAB</i> ®.....	36
Figura 5.4. – Tela do <i>Editor</i> . ....	37
Figura 5.5. Tela do GUIDE. ....	38
Figura 6.1 – Circuito montado no simulador.....	39
Figura 6.2 – Montagem do circuito na <i>protoboard</i> .....	40
Figura 6.3 – Tela Inicial do Sistema de Controle de Água. ....	41
Figura 6.4 – Tela de visualização do consumo de água. ....	42
Figura 6.5 – Foto do Protótipo que Simula um Medidor de Vazão e Envia os Pulsos Coletados para Porta Serial.....	43
Figura 6.6 – Tela Inicial do Sistema de Controle de Água. ....	44
Figura 6.7 – Tela de Visualização das Amostras Diárias abaixo da média. ....	45
Figura 6.8 – Tela de Visualização das Amostras Diárias acima da média. ....	46
Figura 6.9 – Tela Inicial do Programa dos Dados Simulados.....	47
Figura 6.10 – Tela de visualização das amostras simuladas diárias abaixo da média base estabelecida de 750 litros ao longo do dia.....	48
Figura 6.11 – Tela de visualização das amostras simuladas diárias acima da média base de 750 litros. ....	48

Figura 6.12 – Tela de visualização das amostras simuladas mensais abaixo da media base de 22.600 litros. ....	49
Figura 6.13 – Tela de visualização das amostras simuladas mensais acima da media base de 22.600 litros. ....	50
Figura 6.14 – Gráfico do consumo de água diário baseado no simulador da Sabesp. ....	52
Figura 6.15 – Gráfico do consumo de água semanal baseado no simulador da Sabesp. ....	53
Figura 6.16 – Gráfico do consumo de água mensal baseado no simulador da Sabesp ....	54
Figura A.1 – Diagrama dos pinos. ....	60
Figura B.1 – Descrição dos pinos e capacitores do MAX 232. ....	62
Figura B.2 – Montagem do circuito com RS232. ....	63
Figura C.1 – Esquema de montagem do medidor digital. ....	64
Figura D.1 – Folha de Dados do Medidor 2536 Rotor-x <i>Flow Sensor</i> . Parte 1. ...	65
Figura D.2 – Folha de Dados do Medidor 2536 Rotor-x <i>Flow Sensor</i> . Parte 2. ...	66
Figura D.3 – Folha de Dados do Medidor 2536 Rotor-x <i>Flow Sensor</i> . Parte 3. ...	67
Figura E.1 – Montagem Final do Circuito. ....	68
Figura E.2 – Visão Lateral do Circuito. ....	68
Figura E.3 – Visão Geral do Protótipo. ....	69
Figura E.4 – Visão Lateral do Protótipo com os nomes Componentes. ....	69
Figura E.5 – Legenda dos Componentes do Protótipo. ....	70
Figura E.6 – Protótipo em funcionamento: Medidor parado e zerado. ....	70
Figura E.7 – Protótipo em Funcionamento: Medidor contando os pulsos. ....	71
Figura E.8 – Protótipo em Funcionamento: Medidor parado com 3956 pulsos. ...	71

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 2.2 – Vazões em litros/segundo relativas a uma velocidade de 1 m/s. ....	14
Tabela 3.1 – Especificações técnicas do medidor tipo turbina. ....	24
Tabela 3.1 – Fator K.....	29
Tabela 4.1 – Algumas Características do PIC16F628A .....	31
Tabela 6.1 – Consumo Médio para uma Família com 5 pessoas.....	51
Tabela A.1 – Descrição dos pinos PIC16F628A. ....	60
Tabela A.2 – Descrição dos pinos PIC16F628A (Continuação). ....	61

## LISTA DE SIGLAS

**DIP:** *Dual In-line Package* (Encapsulador de chips).

**EEPROM:** *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory* (Memória programável somente leitura eletricamente apagável).

**Hz:** *Hertz*.

**KHz:** *Kilohertz*.

**LCD:** *Liquid Crystal Display* (Display de cristal líquido).

**LED:** *Light Emitting Diode* (Diodo emissor de luz).

**LVP:** *Low Voltage Programming* (Programação em baixa tensão).

**MHz:** *Megahertz*.

**MIPS:** Milhões de Instruções Por Segundo.

**PCB:** Módulo Compilador para dispositivos de 16 bits.

**PCH:** Módulo Compilador para dispositivos de 14 bits.

**PCM:** Módulo Compilador para dispositivos de 12 bits.

**PIC:** *PICmicro*.

**PVC:** Policloreto de Vinila.

**PVDF:** Fluoreto de Polivinilideno.

**RAM:** *Random Access Memory* (Memória de acesso aleatório).

**RISC:** *Reduced Instruction Set Computer* (Computador com um conjunto reduzido de instruções).

# CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Todo o desenvolvimento da humanidade está associado ao uso da água. Durante muito tempo, o homem acreditou que este era um recurso inesgotável. Há apenas algumas décadas, a humanidade tem despertado para a dura realidade de que, diante da má utilização, da poluição e da superexploração, esse recurso se tornou escasso. Além disso, a quantidade de água no planeta é a mesma desde a origem do planeta e não somos capazes de produzi-la.

Embora a água seja a substância mais abundante em nosso planeta, dos 2,5% de água doce da Terra, apenas 0,3% são acessíveis ao consumo humano. Os especialistas e autoridades internacionais alertam para um possível colapso das reservas de água doce. Em vinte e quatro anos, um terço da população da Terra poderá ficar sem água, se não forem tomadas medidas urgentes (CAMARGO, 2007).

Frente a tal realidade, o ambiente residencial pode ser visto como um dos responsáveis por grande parcela de desperdício, o que agrava ainda mais a situação. Algumas medidas como: utilização de novas tecnologias de medição, campanhas educacionais de redução de água são adotadas para que sejam alcançados os objetivos quanto à conservação e otimização da utilização da água.

Em função desses fatores este trabalho contempla uma sugestão para a redução do consumo de água de uma residência onde é possível ter um melhor controle da água, através de medições feitas por um medidor de vazão e monitoradas pelo computador por meio de um *software*. O presente projeto incorpora a seguinte estrutura:

No capítulo 1, é feita a introdução deste trabalho.

No capítulo 2, é apresentada uma visão geral de mecânica dos fluidos. Neste capítulo é abordado o comportamento do fluido e suas características em um escoamento.

No capítulo 3, são abordados os tipos de medidores de vazão. Neste capítulo, é explicado o conceito de sistema de medição, o funcionamento dos medidores de vazão, as características estáticas dos instrumentos de medição, o medidor utilizado, e também são citados dois tipos de medidores de vazão.

No capítulo 4, são apresentadas as principais características do microcontrolador utilizado. Neste capítulo também é abordada a comunicação serial.

No capítulo 5, é feita uma abordagem dos softwares utilizados para a simulação do hardware, desenvolvimentos e compilação de programas para microcontrolador utilizado e confecção do programa em *MATLAB®*.

No capítulo 6, é apresentado o procedimento prático através de simulações e testes utilizando o protótipo que simula um medidor de vazão enviando assim os pulsos acumulados para a porta serial onde é feito o tratamento através do programa elaborado.

Por fim, no capítulo 7 é apresentada a conclusão do trabalho.

## CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DE MECÂNICA DOS FLUIDOS

### 2.1. CONCEITOS BÁSICOS DE MECÂNICA DOS FLUIDOS

#### 2.1.1 Fluidos

Fluidos são substâncias que são capazes de escoar e cujo volume toma a forma de seus recipientes. Quando em equilíbrio, os fluidos não suportam forças tangenciais ou cisalhantes. Todos os fluidos possuem certo grau de compressibilidade e oferecem pequena resistência à mudança de forma. Especificamente, um fluido é uma substância que se deforma continuamente sob a aplicação de uma tensão de cisalhamento tangencial, não importando quão pequena ela possa ser (FOX, 2001. p. 2).

Os fluidos podem ser divididos em líquidos e gases. Os líquidos são praticamente incompressíveis e os gases são compressíveis. Os líquidos ocupam volumes definidos e têm superfícies livres, ao passo que uma dada massa de gás expande-se até ocupar todo o volume de um recipiente (ROMA, 2003).

#### 2.1.2. Descarga

A descarga de massa  $D_M$ , ou simplesmente vazão mássica  $\dot{m}$ , é definida como a quantidade de massa que atravessa a superfície de controle na unidade de tempo. As unidades de descarga de massa são obtidas pela divisão da unidade de massa por unidade de tempo (ROMA, 2003). Essa representação pode ser vista na Equação 2.1:

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A \quad (2.1)$$

onde:

$\dot{m}$  = Vazão mássica [ $kg/s$ ];

$\rho$  = Densidade do fluido [ $kg/m^3$ ];

$v$  = velocidade do escoamento no interior do tubo [ $m/s$ ];

$A$  = área da seção transversal do tubo [ $m^2$ ].

### 2.1.3. Vazão

A vazão  $Q$  é definida como a relação entre o volume de fluido que atravessa a superfície e o tempo gasto nessa passagem. As unidades de vazão são obtidas pela divisão de unidade de volume por unidade de tempo (ROMA, 2003. p. 10). Essa representação pode ser vista na Equação 2.2:

$$Q = A.V \quad (2.2)$$

onde:

$Q$  = vazão no tubo [ $m^3/s$ ];

$A = \pi.D^2/4$  = área da seção transversal do tubo [ $m^2$ ];

$D$  = Diâmetro interno do tubo [ $m$ ];

$V$  = Velocidade do líquido no interior do tubo [ $m/s$ ].



## 2.2. NÚMERO DE REYNOLDS

O número de Reynolds permite avaliar a estabilidade do fluxo, e também avaliar se o mesmo flui de forma laminar ou turbulenta. Segundo Merle C. Potter (2004. p. 238), quando o número de Reynolds é menor que 2000 ( $Re < 2000$ ), o escoamento é considerado laminar. Acima de 4000 ( $Re > 4000$ ) ele será considerado turbulento levando em conta um escoamento em um tubo. Para um número de Reynolds entre 2000 e 4000 ( $2000 < Re < 4000$ ), supõe-se que o escoamento oscile ao acaso entre laminar e turbulento, portanto é uma faixa de transição. A fórmula que expressa o número de Reynolds é mostrada na Equação 2.3:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (2.3)$$

onde:

$V$  = Velocidade do líquido no interior do tubo [ $m/s$ ];

$D$  = Diâmetro da tubulação [ $m$ ];

$\nu$  = Viscosidade cinemática do fluido [ $m^2/s$ ].

## 2.3. FLUIDOS COMPRESSÍVEIS E INCOMPRESSÍVEIS

Segundo ROMA (2003. p.11), de forma geral, os gases e os vapores são considerados fluidos compressíveis, isto é, sua massa específica sofre grande influência da pressão envolvida no ambiente de trabalho. O conceito de fluido incompressível é uma idealização para uso nos problemas estáticos, pois a compressibilidade de um fluido depende do módulo de compressibilidade volumétrica  $\varepsilon_{vol}$ , definida pela Equação 2.4, portanto todo fluido tem o seu módulo de elasticidade volumétrica, o que garante sempre alguma compressibilidade dependendo do valor de  $\varepsilon_{vol}$ , ou seja, nunca será totalmente incompressível. É muito usual dizer em um escoamento incompressível que a massa específica tem variação desprezível devido às variações na pressão envolvida.

$$\varepsilon_{vol} = -V \frac{dp}{dV} \quad (2.4)$$

A compressibilidade volumétrica de um fluido é definida pela relação entre o acréscimo de pressão  $dp$  é o decréscimo de volume  $-dV$  multiplicada pelo volume inicial  $V$ .

Sempre que se tratar de um escoamento incompressível ou ideal, de um sistema com fluido incompressível, a massa específica será considerada constante. Nos problemas de engenharia, todos os líquidos são considerados incompressíveis, exceto quando envolvidos em sistemas com grande variação da pressão.

## 2.4. CLASSIFICAÇÃO DE ESCOAMENTO

### 2.4.1. Escoamento Unidimensional

É um escoamento onde o vetor velocidade depende apenas de uma variável espacial, ou seja, o escoamento do fluido ocorre quando a direção e a intensidade da velocidade são as mesmas para todos os pontos. Normalmente, esse tipo de escoamento ocorre em tubulações longas e retas. Entretanto, em tubulações curvas, a análise é feita com princípios de escoamento unidimensional, apesar do fato de que a estrutura é tridimensional e a velocidade varia através das seções normais ao escoamento (GILES, 1982).

### 2.4.2. Escoamento Laminar

No escoamento laminar, o fluido segue um caminho disciplinado seguindo trajetórias regulares por um período de tempo relativamente longo, sendo que as trajetórias de duas partículas vizinhas não se cruzam. Na Figura 2.1 é ilustrado um exemplo de escoamento laminar de um filete contínuo de permanganato de potássio:

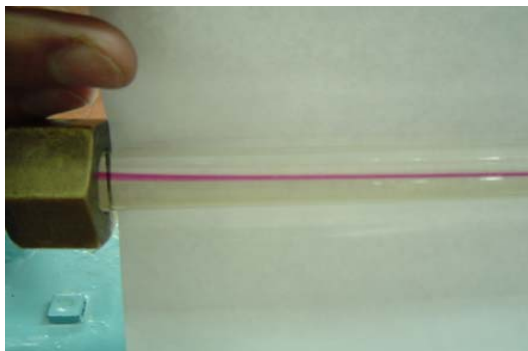


Figura 2.1 – Escoamento laminar.

Fonte: ESCOLADAVIDA, 2004.

Para aplicações de engenharia, um valor de aproximadamente 2000 é o maior valor do número de Reynolds que assegura um escoamento laminar; isso se deve a vibrações do tubo, flutuações no escoamento ou elementos de rugosidade sobre a parede do tubo (POTTER, 2004).

#### **2.4.3. Escoamento Turbulento**

No escoamento turbulento, existe uma irregularidade no movimento do fluido de tal modo que as coordenadas de tempo e espaço variam constantemente, ou seja, uma mesma partícula ora localiza-se próxima ao eixo do tubo, ora próxima à parede do tubo.

Pode-se notar na Figura 2.2, o movimento turbulento do permanganato de potássio.



Figura 2.2 – Escoamento Turbulento.

Fonte: SIMULAÇÃO DE REYNOLDS, 2004.

Um escoamento turbulento desenvolvido acontece quando todas as características do escoamento param de mudar na direção do escoamento (POTTER, 2004).

## 2.5. VISCOSIDADE

A viscosidade pode ser imaginada como sendo uma aderência interna de um fluido; funciona como um atrito interno e descreve a facilidade na qual o fluido escoar. Por exemplo, o mel apresenta uma dificuldade no escoamento maior que a água, por isso é dito que ele é mais viscoso do que a água.

Segundo Merle C. Potter (2004, p. 13) nem todos os fluidos têm a mesma relação entre tensões de cisalhamento e taxa de deformação. Se a tensão é sempre diretamente proporcional à taxa de deformação, ou seja, a viscosidade mantém-se constante com a variação na taxa de cisalhamento, o fluido é chamado de newtoniano; se o fluido não apresenta linearidade entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação é denominado de não-newtoniano. A constante de proporcionalidade que aparece nos fluidos newtonianos é denominada coeficiente de viscosidade dinâmica ou absoluta ( $\mu$ ), que pode ser representada na Equação 2.5:

$$\mu = \frac{\text{Tensão de cisalhamento}}{\text{Taxa de deformação}} \quad (2.5)$$

Para fluidos não-newtonianos têm-se a chamada viscosidade dinâmica aparente ( $\mu_{AP}$ ), que será a medida de inclinação da curva Tensão de cisalhamento x Taxa de deformação como mostrado na Figura 2.3:

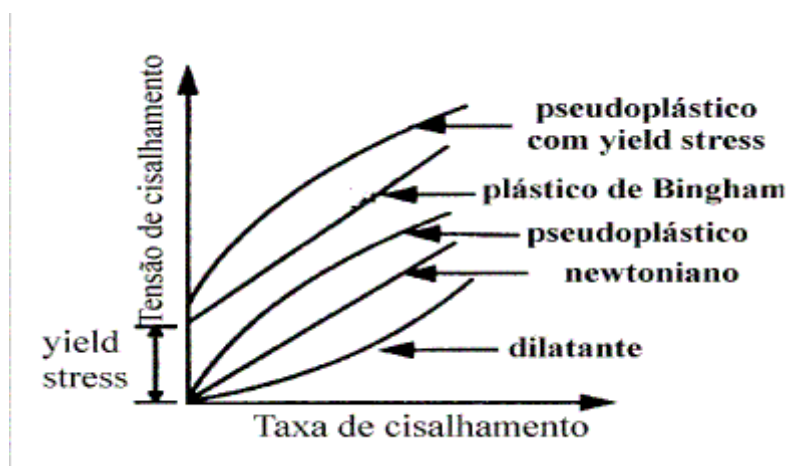


Figura 2.3 – Diagrama Reológico.

Fonte: SCIELO, 2007.

Para os fluidos pseudoplásticos ou não dilatantes, quanto maior a tensão de cisalhamento, menor será a viscosidade dinâmica aparente. Para os fluidos dilatantes, quanto maior for a tensão de cisalhamento, maior será o valor da viscosidade dinâmica aparente do fluido. O comportamento do plástico de Bingham ou ideal, que ora se comporta como sólido, ora como fluido. Ele pode resistir, sem se mover, até um valor determinado da tensão de cisalhamento, entretanto ao ser ultrapassado este valor finito de tensão de escoamento, o material escoar normalmente, como um fluido newtoniano (POTTER, 2004. p. 13).

É interessante ressaltar que o aumento da temperatura reduz a viscosidade dos líquidos, pois causa uma redução das forças de interação entre suas moléculas, reduzindo assim a resistência ao movimento. Já para os gases, onde as forças intermoleculares são desprezíveis, um aumento de temperatura provoca

uma elevação do grau de agitação das moléculas, aumentando assim a resistência ao movimento e causando o aumento da viscosidade dinâmica.

De acordo com Merle C. Potter (2004. p. 14) é freqüente aparecer na mecânica dos fluidos o termo viscosidade cinemática ( $\nu$ ), que é a relação entre viscosidade dinâmica ( $\mu$ ) e massa específica ( $\rho$ ), como mostra a Equação 2.6:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.6)$$

O escoamento de um fluido pode ser classificado em geral como um escoamento viscoso ou não-viscoso. Potter (2004. p. 83) menciona que um escoamento não-viscoso é um escoamento nos quais os efeitos viscosos não influenciam significativamente e, assim, são desprezados ( $\mu = 0$ ). Em um escoamento viscoso, os efeitos da viscosidade são importantes e não podem ser ignorados. Na Tabela 2.1 é mostrada a viscosidade de alguns fluidos para uma temperatura de 20° C:

Tabela 2.1. – Viscosidade dos Fluidos.

Fluido	Viscosidade dinâmica, $\mu$ (Pa.s)
Ar	$1,9 \times 10^{-5}$
Água	$1,0 \times 10^{-3}$
Mercúrio	$1,5 \times 10^{-3}$
Óleo de mamona	1,0

Fonte: ROMA, 2003. p.78.

O diagrama mostrado na Figura 2.4, é apresentado uma possível classificação da mecânica dos fluidos, uma vez que existe uma superposição nos tipos de escoamentos encontrados, pois não há um esquema de classificação universal.

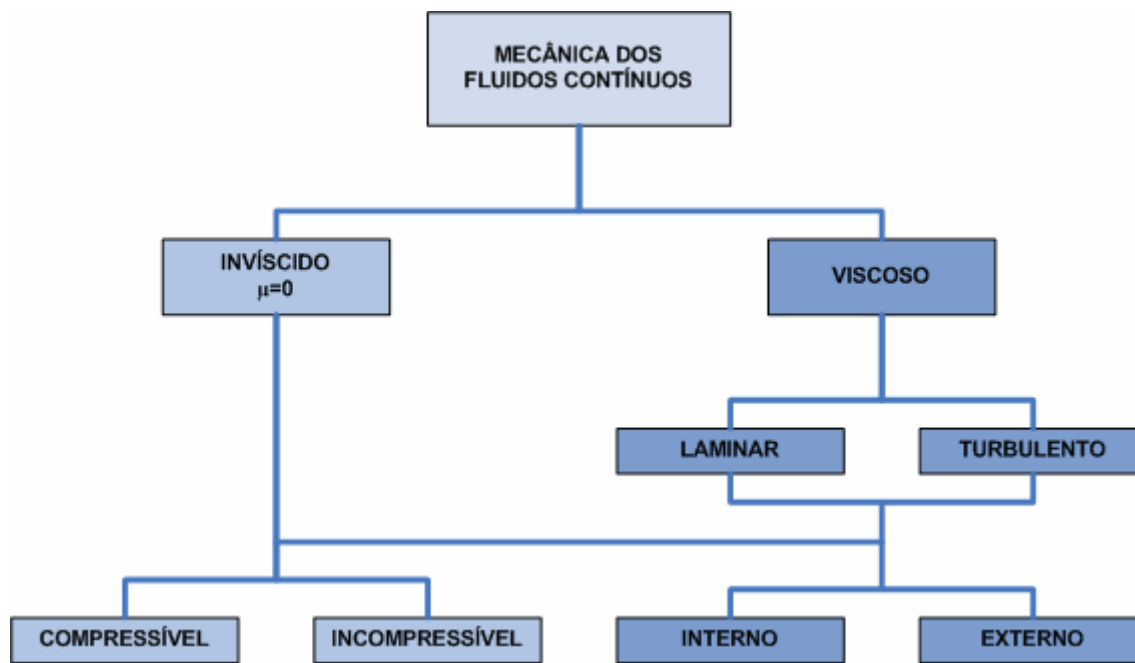


Figura 2.4. – Possível Classificação da Mecânica dos Fluidos Contínuos.

Fonte: FOX, 2001.

A tensão cisalhante para fluidos newtonianos é diretamente proporcional à viscosidade dinâmica e ao gradiente de velocidade na direção normal ao escoamento. São considerados fluidos Newtonianos, o ar, a água e óleo lubrificante, nas condições normais de temperatura e pressão.

## 2.6. ESCOAMENTO EM TUBOS

O escoamento de qualquer fluido em uma tubulação resulta sempre em uma certa perda de energia do fluido, energia esta que é gasta para vencer as resistências que se opõem ao escoamento, e que finalmente é dissipada na forma de calor.

As resistências que se opõem ao escoamento são de duas naturezas:

- Resistências externas, resultantes do atrito contra as paredes dos tubos, das acelerações e mudanças de direção da veia fluida, e turbilhonamentos conseqüentes;
- Resistências internas, resultante do atrito das próprias moléculas do fluido umas com as outras; é o que se denomina de viscosidade.

As resistências externas serão tanto maiores quanto maiores forem a velocidade do fluido e a rugosidade das paredes, e quanto menor for o diâmetro da tubulação. Essas resistências dependerão também da quantidade e da natureza dos acidentes na tubulação (curvas, derivações, reduções, válvulas etc.) que resultam nas denominadas perdas secundárias ou localizadas. As resistências internas serão tanto maiores quanto maiores forem a velocidade e a viscosidade do fluido. O escoamento dos líquidos em uma tubulação pode ser laminar ou turbilhonar (TELLES, 2001. p. 4).

A classificação do tipo de escoamento laminar ou turbulento que se terá em determinada tubulação é feita pelo cálculo do número de Reynolds, que é um número adimensional é dado pela Equação 2.1 citada anteriormente (TELLES, 2001. p. 5).

Os critérios de cálculos e classificação do escoamento encontram-se definidos nos itens 2.2: 2.4.2 2 e 2.4.3 deste trabalho.

### **2.6.1. Perdas de Cargas**

A energia perdida chamada de perda de carga traduz-se por uma gradual diminuição da pressão do fluido, que vai caindo de ponto para ponto quando se percorre a tubulação no sentido do escoamento. Costuma-se dividir as redes de tubulações por trechos, de maneira que não haja em nenhum trecho qualquer máquina (bombas, compressores, turbinas, dentre outros) capaz de trocar trabalho com o exterior, introduzindo energia no fluido ou absorvendo energia do fluido. Dessa forma, a única variação de energia do fluido entre os pontos extremos de cada trecho da tubulação será a decorrente das perdas de cargas (TELLES, 2001. p. 4).



O escoamento em uma tubulação pode exigir a passagem do fluido através de uma variedade de acessórios, curvas ou mudanças súbitas de área. Quaisquer desses acessórios causam novas perdas de carga de natureza diferente das causadas pelo simples atrito nos tubos retos. Estas perdas secundárias são causadas pelas mudanças de direção, acelerações, intensificação de atrito, turbilhonamentos, choques dinâmicos etc. Se o sistema incluir longos trechos de seção constante as perdas serão relativamente menores e por isso denominada de perda localizada. Podemos citar alguns tipos de perdas localizadas (FOX, 2001. p. 235):

- **Entradas e Saídas:** A entrada mal projetada de um tubo pode causar uma apreciável perda de carga. O fluido deve acelerar-se localmente para passar através da área reduzida do escoamento;
- **Curvas em tubos:** A perda de carga numa curva é maior do que aquela para escoamento completamente desenvolvido num trecho retilíneo de igual comprimento. A perda adicional é essencialmente o resultado do escoamento secundário, sendo representada de maneira mais conveniente por um comprimento equivalente de tubo reto;
- **Válvulas e Acessórios:** As perdas em escoamentos através de válvulas e acessórios também podem ser expressas em termos de um comprimento equivalente de tubo reto. Todas as resistências são dadas para válvulas totalmente abertas; as perdas aumentam muito quando elas estão parcialmente fechadas. Os acessórios numa tubulação podem ter conexões rosqueadas, flangeadas ou soldadas. Para pequenos diâmetros, as junções rosqueadas são mais comuns; as tubulações de diâmetros maiores têm em geral junções flangeadas ou soldadas.

### 2.6.2. Cálculo do Diâmetro das Tubulações

O cálculo do diâmetro das tubulações é um problema hidráulico que pode ser resolvido em função das velocidades e/ou das perdas de cargas.

Quanto maior for o diâmetro, maior será o custo inicial da tubulação, mas, em compensação, menores serão a perda de carga e a velocidade do fluido, para

um determinado valor de vazão. A perda de carga deve sempre ser baixa, porque apresenta uma energia perdida e assim quanto menor essa perda, menor será o custo de operação da tubulação. Independente do valor da perda de carga, a velocidade do fluido também não deve ser muito alta, por que as velocidades elevadas podem causar erosão e abrasão nas paredes dos tubos, ruídos, vibrações, problemas de cavitação em válvulas e outros acessórios. Por outro lado, as velocidades excessivamente baixas também devem ser evitadas, porque podem causar depósito de materiais sólidos na tubulação e às vezes problemas de corrosão por pites e/ou corrosão biológica (TELLES, 2001. p. 11).

O dimensionamento do diâmetro normalmente é feito por aproximações sucessivas, tanto em função da velocidade como das perdas de carga. Existem tabelas que dão diretamente, para cada diâmetro, as velocidades correspondentes a diversos valores de vazão. A Tabela 2.2 fornece as vazões em litros/segundo relativas a uma velocidade de 1 m/s.

Tabela 2.2 – Vazões em litros/segundo relativas a uma velocidade de 1 m/s.

Diâmetro (polegadas)	Espessura (série)	Vazão (l/s)
$\frac{3}{4}$	80	0,378
1	80	0,464
2	80	2,161

Fonte: TELLES, 2001.

Usam-se tubulações para o transporte de todos os materiais capazes de escoar, isto é, todos os fluidos conhecidos, líquidos ou gasosos.

### 2.6.3. Tubos e tubulações

Tubos são condutos fechados, destinados principalmente ao transporte de fluidos. Todos os tubos são de seção circular, apresentando-se como cilindros ocos. A grande maioria dos tubos funciona como condutos forçados, isto é, sem superfície livre, com o fluido tomando toda a área da seção transversal. Chama-se de tubulação um conjunto de tubos e seus diversos acessórios.

Os tubos rígidos de PVC são muitos empregados para tubulações de água, esgotos e alguns produtos químicos. Fabricam-se tubos no Brasil com varias espessuras de paredes, denominadas de séries (*schedule*) abrangendo os diâmetros nominais de 3/8" a 300 mm, nas espessuras series 40 e 80 (TELLES, 2001. p. 19).

## 2.7. TIPOS DE MEDIDORES DE VAZÃO

Numerosos dispositivos têm sido inventados ou adaptados com o objetivo de medir escoamento e variam amplamente em sofisticação, tamanho e exatidão. Basicamente, instrumentos para medidas de vazão podem ser divididos entre aqueles que empregam meios de medidas diretos "quantitativos" e aqueles que são indiretos, isto é, são chamados de medidores de "taxa". Medidores de quantidade pesam ou medem o volume de um fluido em um incremento de tempo conhecido.

Medidores de taxa ou indiretos consistem em duas componentes: a parte primaria que está em contato com o fluido, e a parte secundaria, que converte a reação da parte primaria em uma quantidade mensurável. Elas podem ser classificadas conforme um princípio de operação característico: medida de área-velocidade, arrastamento hidrodinâmico, e semelhantes. (POTTER, 2004. p. 531).

Existem vários tipos de medidores de vazão, dos mais simples aos mais sofisticados, para diversos tipos de aplicações. A seguir, alguns dos tipos mais comuns de medidores a vazão (POTTER, 2004).

- **Medidor de turbina:** O medidor de turbina consiste em uma hélice montada dentro de um tubo, que é girada pelo escoamento do fluido. Cada tipo de medidor de turbina deve ser calibrado individualmente. Efeitos de viscosidade tornam-se um fator limitante na extremidade baixa, enquanto, na extremidade

alta, a exatidão limitada pela interação entre as pontas das pás e os sensores eletrônicos. Na Figura 2.5 pode-se ver um medidor do tipo turbina.

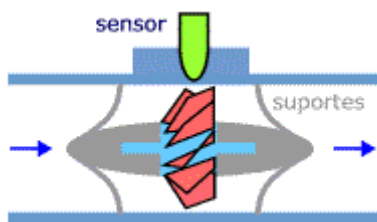


Figura 2.5 – Medidor do Tipo Turbina.

Fonte: FLUIDOS IIIA, 2007.

A velocidade de rotação da turbina pode ser medida usando-se um transdutor magnético externo ao medidor. Esse método de medida não requer, portanto, penetrações ou gaxetas no duto. Desse modo, os medidores de turbina podem ser empregados com segurança na medição de vazões de fluidos corrosivos ou tóxicos. O sinal elétrico pode ser mostrado, registrado ou integrado para fornecer informações completas do escoamento (FOX, 2001. p. 256).

Esse tipo de medidor é normalmente utilizado pelas companhias de água, pois a turbina aciona um mecanismo do tipo relógio ou dígitos que indicam o valor acumulado, tais como:

- **Medidor de Alvo:** O medidor de alvo consiste em um disco suspenso por um suporte imerso no escoamento. O suporte é conectado a uma alavanca ou, alternativamente, tem um extensômetro fixo em uma superfície. O arrasto do fluido no disco fará com que o suporte flexione levemente e a força do empuxo registrada poderá ser relacionada com a descarga. Medidores de arrasto são razoavelmente robustos, e podem ser usados para medir descargas em fluidos carregados de sedimentos;

- **Fluxômetro Eletromagnético:** Esse é um dispositivo não intrusivo, sem contato com o fluido e necessidade de perfurar a tubulação, que consiste em um arranjo de bobinas magnéticas e eletrodos cercando a tubulação. As bobinas são isoladas do fluido e os eletrodos fazem contato com ele. Eletrólitos suficientes

são dissolvidos no fluido, de modo que ele se torna capaz de conduzir corrente elétrica. Quando passa através do campo magnético gerado pelas bobinas, o líquido cria uma tensão induzida proporcional ao escoamento. Na Figura 2.6 pode-se ver um medidor eletromagnético.

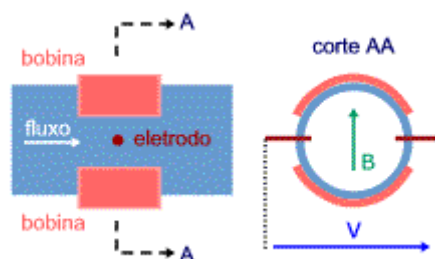


Figura 2.6 – Medidor Eletromagnético.

Fonte: FLUIDOS IIIA, 2007.

Os medidores magnéticos podem ser usados com líquidos que têm condutividade elétrica acima de 100 microsiemens por metro (1 siemen = 1 ampère/volt). A velocidade mínima para o escoamento deve ser superior a 0,3 m/s, mas não há restrições quanto ao número de Reynolds (FOX, 2001. p. 256).

## CAPÍTULO 3 – ESPECIFICAÇÕES DE MEDIDORES

O critério para a escolha de um medidor de vazão é principalmente influenciado pela precisão exigida, relação custo/benefício, facilidades de leitura, tempo de vida útil em funcionamento e também a compatibilidade química do medidor com o fluido, caso este seja de contato direto. Ao fazer um estudo para a escolha do transdutor <sup>1</sup>, deve-se escolher o mais simples e barato que forneça a precisão desejada. Em sistemas modernos de engenharia, quando a vazão e leitura devem ser medidas e acompanhadas constantemente e a distância entre os sistemas são consideráveis, existe a necessidade de utilizar sensores de vazão para contribuir com o processo de medição e também adaptá-los em sistemas de computação.

Medidores do tipo turbina ainda é a forma mais usada para se medir vazão eletronicamente. Esse tipo de medidor é muito utilizado em indústrias que necessitam um melhor controle do fluido, eles são acoplados diretamente à tubulação através de conexões hidráulicas.

Os medidores de vazão são apropriados para o uso em vários fluidos, apesar de não serem recomendados para líquidos contendo lamas ou quando o teor de materiais suspenso é alto. Eles também provocam alguma resistência ao fluxo e sua calibração pode ser afetada por variações no perfil da velocidade de entrada (ISMAIL, 1998. p. 194).

### 3.1. CONCEITO DE SISTEMA DE MEDIÇÃO

Sistema de medição é um conjunto completo de instrumentos de medição e outros equipamentos acoplados para executar uma medição específica. De um modo geral um sistema de medição é constituído de quatro partes (SOUZA, 2006. p.65):

- **Medidor:** Dispositivo que interage com o sólido ou fluido criando a possibilidade de medir as características de interesse;

---

<sup>1</sup> Os transdutores transformam uma grandeza física como pressão, temperatura em um sinal de tensão ou corrente que pode ser facilmente interpretados por um sistema de controle.

- **Captor ou sensor:** Dispositivo que capta o sólido ou fluido a característica de interesse;
- **Circuito de medida:** Conjunto que recebe do captor ou dos captadores a característica de interesse respectiva, precede ao tratamento necessário e a transmite ao instrumento de medida;
- **Instrumento de medida:** Aparelho que recebendo a característica de interesse do circuito de medida procede a seu tratamento de modo que esteja disponível conforme previsto.

### 3.2. CARACTERÍSTICAS DE SISTEMA DE MEDIÇÃO

Para que um sistema de medida possa ser escolhido é necessário que seja caracterizado, em cada caso (SOUZA, 2006. p. 66):

#### 3.2.1. Natureza da aplicação e do local

- **No caso de fluido, tipo de escoamento:** Reservatório, rio, canal, galeria, conduto livre ou conduto forçado;
- **Sentido do escoamento:** Uma só direção ou com possibilidade de operação em direção contrária;
- **Tipo de fluido:** Líquido, vapor, gás; líquido-vapor, líquido-gás;
- **Características do meio que transporta o sólido ou fluido:** Natureza e estado das paredes, trechos retos, diâmetro, espessura, locais de acesso, sistema de controle;
- **Características do meio ambiente:** Pressão barométrica, temperatura, umidade, qualidade física e química do ar, presença de campos vibratórios, eletromagnéticos, eletrostáticos e de outra natureza. Isto é importante, pois interferências externas podem prejudicar os resultados das medições.

#### 3.2.2. Características físicas, químicas e biológicas do fluido

- Pressões e temperatura de serviços;

- Massa específica e viscosidade;
- Presença de ácidos, bases e outras substâncias corrosivas;
- Elementos transportados pelo fluido.

### 3.2.3. Resultados desejados

- Medidas desejadas;
- **Formas de apresentar as medidas:** Indicador digital ou analógico, registrador intermitente ou permanente, limitadores de escala com ou sem alarme;
- **Fixação da:** Exatidão, precisão, repetitividade, amortecimento, perdas máximas possíveis, proteções e unidades desejadas.

### 3.2.4. Elementos econômicos e garantias

- Custos para estudos e projetos;
- Custo do equipamento e da instalação;
- Custos de operação e manutenção;
- Padronização com equipamentos existentes, bem como a qualidade e custos da assistência técnica prestada;
- A durabilidade do instrumento, ou seja, sua vida útil;
- A facilidade de reposição de peças.

### 3.2.5. Fornecedores

- Fabricantes e suas competências comprovadas;
- Características técnicas e custos dos produtos ofertados;
- Garantias;
- Rede de manutenção.



### 3.3. CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

As características estáticas dos instrumentos de medição referem-se a sua utilização quando a grandeza a medir encontra-se em estado de equilíbrio termodinâmico, isto é, quando a variação no espaço e no tempo de todas suas propriedades controláveis físicas, químicas e térmicas são da mesma ordem que propriedades não controláveis correspondentes externas. De um modo geral utiliza-se a seguinte conceituação (SOUZA, 2006).

- **Exatidão:** É a aptidão de um instrumento de medição para dar respostas mais próxima de um valor verdadeiro convencional. A exatidão é um conceito qualitativo e normalmente é dada como um valor percentual do fundo de escala do instrumento. Por esta razão é uma regra importante escolher instrumentos com uma faixa apropriada para os valores a serem medidos.

- **Precisão:** Termo que descreve o grau de liberdade a erros aleatórios, ou seja, ao nível de espalhamento de varias leituras em um mesmo ponto. Uma baixa exatidão em instrumentos precisos decorre normalmente de um desvio ou tendência nas medidas, o que poderá ser corrigido por uma nova calibração.

- **Repetitividade:** É a aproximação acertada, em presença de erros aleatórios, entre as medições de uma mesma grandeza, obtidas em iguais condições. Em última análise, a repetitividade descreve o grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo instrumento efetuadas sob as mesmas condições. Estas condições são denominadas condições de repetitividade e incluem o mesmo procedimento de medição, mesmo observador, mesmo instrumento de medição utilizando nas mesmas condições, mesmo local e repetição em curto período de tempo.

- **Resolução:** É a variação menor possível que pode ter uma variável física a qual pode causar uma variação na resposta do sistema de medição. Para um dispositivo mostrador digital, é a variação na indicação quando o dígito menos significativo varia de uma unidade.

- **Reprodutibilidade:** Proximidade acertada entre as medições do mesmo valor de uma grandeza obtida em diferentes condições, por exemplo: diferentes observadores, instrumentos, intervalos de tempo suficientemente grandes para que as diferenças errôneas sejam insignificantes. Assim, a reprodutibilidade expressa o grau de concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando, efetuadas sobre condições variadas de medição.

- **Linearidade e não linearidade:** característica, normalmente desejável, onde a leitura de um instrumento é linearmente proporcional à grandeza que esta sendo medida. A não linearidade, por sua vez, é definida como o máximo desvio de qualquer uma das leituras com relação à reta obtida, e é normalmente expressa como uma percentagem do fundo de escala.

- **Faixa de indicação ou alcance (range):** Conjunto de valores limitados pelas indicações extremas, ou seja, entre os valores máximos e mínimos possíveis de serem medidos com determinado instrumento, como um termômetro que pode ter de 0 a 100 (°C).

- **Zona morta:** É o intervalo máximo no qual um estímulo pode variar em ambos os sentidos, sem produzir variação na resposta de um instrumento de medição. A zona morta pode depender da taxa de variação e pode, muitas vezes, ser deliberadamente ampliada, de modo a prevenir variações na resposta para pequenas variações no estímulo.

- **Sensibilidade do instrumento:** Resposta de um instrumento de medição dividida pela correspondente de variação do estímulo. A sensibilidade pode depender do valor do estímulo. Sendo assim, a sensibilidade pode ser contabilizada como a inclinação da reta que define a relação entre a leitura e a grandeza de medida.

### 3.4. FUNCIONAMENTO DOS MEDIDORES DE VAZÃO

O fluido que se desloca no interior da tubulação aciona um rotor montado axialmente dentro do medidor. A velocidade deste rotor é proporcional à velocidade de deslocamento do fluido no processo. Um sensor magnético acoplado ao corpo do medidor, tem seu campo magnético alterado a cada passagem de uma das pás do rotor, gerando um pulso elétrico, Fator K, que é amplificado e processado na forma de frequência ou corrente. Cada pulso representa um volume distinto de fluido que passou pelas pás do rotor. Assim, o pulso gerado é uma forma exata de medição do fluido. Um indicador digital, por exemplo, interpreta este sinal propiciando a visualização da vazão instantânea, bem como a sua totalização no tempo (OMEGA, 2007).

### 3.5. FATOR K

Segundo (OMEGA, 2007), o Fator K corresponde ao número de pulsos que são gerados pelo sensor para cada unidade de volume de fluido que passa. O Fator K pode ser visto matematicamente através da Equação 3.1:

$$K = 60 \frac{F}{Q} \quad (3.1)$$

onde:

$Q$  = Corresponde à vazão em galões por minuto [*gpm*];

$F$  = Representa os pulsos por segundo;

$K$  = É o número de pulsos por galões americanos [*gpm*].

### 3.6. MEDIDORES DE VAZÃO

No mercado existem vários tipos de medidores de vazão. Podemos notar na Figura 3.1, medidores do tipo turbina:



Figura 3.1 – Medidor Tipo Turbina.

Fonte: CONTECH, 2007.

Os medidores da Figura 3.1, são acoplados diretamente a tubulação e tem versões para líquido e gás. Eles emitem sinais de saída em pulso ou 4 a 20 mA. É recomendável a utilização de trechos retos de dez vezes o diâmetro da tubulação à montante (antes) e de cinco vezes o diâmetro da tubulação à jusante (depois) do medidor. O diâmetro da tubulação onde será instalado o medidor pode variar de ½ a 8 polegadas. Na Tabela 3.1 é apresentado um resumo das especificações técnicas do medidor tipo turbina.

Tabela 3.1 – Especificações técnicas do medidor tipo turbina.

Repetibilidade	Para líquidos: Dispersão menor que 0,05%  Para gases: Dispersão menor que 0,3%
Temperatura de Operação	-50 a 100°C (PADRÃO)  -50 a 150°C (ESPECIAL)
Precisão	Para liquido: +/- 0.5%  Para gases: +/- 1%

Fonte: CONTECH, 2007.

O medidor da Figura 3.2, mostra um exemplo de um medidor digital que fornece a vazão em tempo real.



Figura 3.2 – Medidor Digital.

Fonte: PULSEINSTRUMENTS, 2007.

O medidor digital ilustrado na Figura 3.2 é constituído de um sensor magnético que acoplado ao corpo do medidor, onde a cada passagem de uma das pás do rotor, o campo magnético é alterado gerando um pulso elétrico que é, por sua vez, interpretado por um dispositivo que mede a vazão e mostra em um display LCD de seis dígitos a vazão atual e total. A sua alimentação é feita por duas pilhas. Seus componentes podem ser conferidos no Anexo B.

### 3.7. DESCRIÇÃO DO MEDIDOR UTILIZADO

O medidor escolhido para a medição de vazão é o modelo 2536 *Rotor-X Paddlewheel Flow Sensors* fabricado pela George Fischer Signet© com um sistema constituído por um sensor e uma unidade eletrônica e que foi desenvolvido para medição de vazão de líquidos em tubulações fechadas. No Anexo C é mostrada a folha de dados do medidor escolhido.

A montagem do sensor é facilitada pelo fato deste ser do tipo inserção, ou seja, não é necessário efetuar o seccionamento da tubulação. Um simples furo no

tubo, com o acoplamento de uma luva, pode ser suficiente na maioria dos casos. Diferentes tipos de conexões, como *tês*, abraçadeiras ou *wafer*, encontram-se disponíveis para outras situações. Devido a esta característica, toda a instalação é efetuada de modo fácil e rápido.

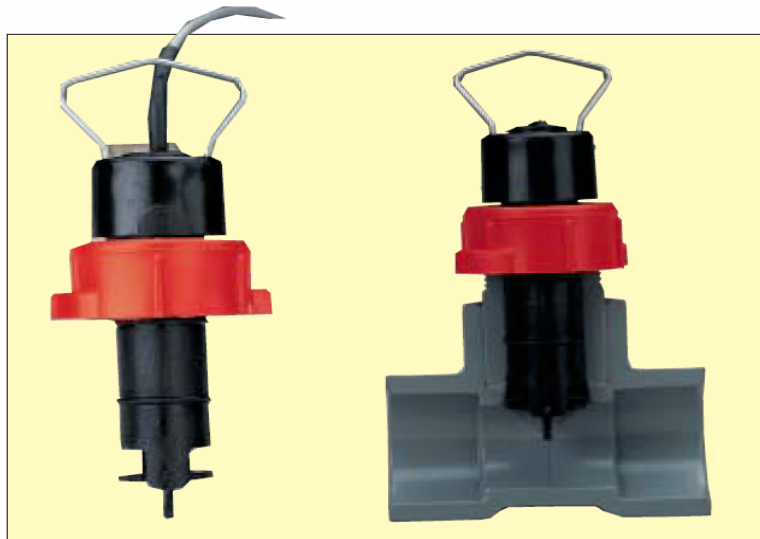


Figura 3.3 – Medidor de Vazão tipo Rotor Magnético.

Fonte: OMEGA, 2007.

O sensor, que possui em sua extremidade um rotor, mede a velocidade de escoamento do fluxo no interior do tubo. Uma vez determinada a velocidade e conhecendo-se a secção transversal da tubulação, chega-se ao valor da vazão. Este cálculo é efetuado pela unidade eletrônica, como pode ser visto na Figura 3.4, que pode ser integral ou remota, ao qual o sensor está conectado, de onde é possível obter informações como vazão instantânea, totalização e acesso aos parâmetros de configuração.



Figura 3.4 – Unidade Eletrônica.

Fonte: NIVETEC, 2007.

Os sensores estão disponíveis em diferentes modelos com relação ao material de fabricação e aplicabilidade. Do mesmo modo, diversas opções de unidades eletrônicas podem ser utilizadas do mais simples, possuindo somente a indicação analógica, até a mais avançada, que apresenta além de indicação, totalização, saída de 4-20 mA, saída de relê para alarme ou controle e entrada para dois canais.

### **3.7.1. Características Importantes do Medidor Utilizado**

- Um único tamanho de sensor pode cobrir diferentes diâmetros;
- É aplicável em tubulações de 0,5" a 12" Polegadas de diâmetro PVC ou PVDF;
- Repetibilidade em torno de 1% do fundo da escala;
- Faixa de vazão de 0.1 até 6  $m/s$ ;
- Sinal de saída: transistor coletor aberto, receptor.

### **3.7.2. Aplicações Mais Utilizadas**

- Dosagem química.
- Macromedicação.
- Sistemas de refrigeração.
- Proteção de bombas.
- Sistema de osmose reversa, filtração e produção de água pura.

### **3.7.3. Posição de Montagem do Sensor**

Para seu melhor funcionamento, o sensor deve ser instalado em tubulações na posição horizontal ou vertical. Para tubulações na posição horizontal o sensor deve ser montado preferencialmente na posição vertical de 0° para obter uma melhor performance. Montar o sensor a um ângulo de 45° quando notar a presença de bolhas no interior da tubulação e não montar na base da

tubulação quando notar a presença de sedimentos no fluido (GEORG FISCHER, 2004). Na Figura 3.5, é ilustrado as posições de montagem.

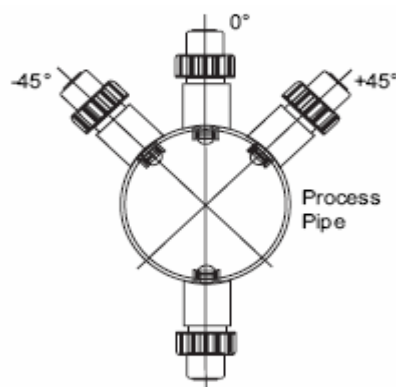


Figura 3.5 – Posição de Montagem do Sensor.

Fonte: Georg Fischer, 2004.

Para a instalação de tubulações na posição vertical, o sensor deve ser montado apenas em linhas com fluxo de baixo para cima.

#### 3.7.4. Posição do Acessório

Para eliminar os efeitos da turbulência na medição da vazão, deve haver um trecho reto anterior ao medidor (montante) e outro na sua saída (jusante), conforme já citado anteriormente. Uma ilustração dessa situação pode ser vista na Figura 3.6:

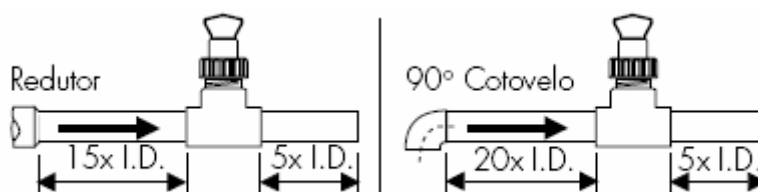


Figura 3.6 – Posição do Acessório.

Fonte: GEORG FISCHER, 2004.

Tomando como exemplo a Figura 3.6, o valor típico de trechos retos recomendados é vinte vezes o diâmetro da tubulação à montante e de cinco



vezes à jusante se na tubulação existir um cotovelo de 90° à montante do medidor. No Anexo D são mostradas outras formas de posições de instalação do sensor.

### 3.7.5. Fator K do Medidor Utilizado

O Fator K corresponde ao número de pulsos que são gerados pelo sensor para cada unidade de volume medido de fluido que passa pelo medidor. Os valores diferenciam para cada tipo de material da tubulação (PVC, Aço, dentre outros) e para sua espessura de parede do tubo de condução, chamado de *Schedule* (SCH 40, SCH 80). Na Tabela 3.1 é mostrada a quantidade de pulsos gerados em uma tubulação de PVC, SCH 80 que são apresentados para galões americanos (GAL) e em litros (L):

Tabela 3.1 – Fator K.

Diâmetro do tubo (Polegada)	Pulsos por Galões EUA (Fator K)	Pulsos por Litro (Fator K)
½	991.71	262.01
1	352.44	93.114
2	66.739	17.633

Fonte: GEORG FISCHER, 2004.

Tomando como exemplo um tubo de 1 polegada à medida que o fluido escoar pela tubulação o rotor gera 93.114 pulsos por litro.

## CAPÍTULO 4 – HARDWARE

### 4.1. MICROCONTROLADORES PIC

Os microcontroladores PIC são uma família de dispositivos fabricados pela *Microchip*® utilizando arquitetura *Harvard* e conjuntos de instruções RISC. Estes microcontroladores PIC apresentam famílias com núcleos de processamento de 12 bits que possuem 33 instruções, 14 bits com 35 instruções e 16 bits com até 77 instruções. Uma maior quantidade de instruções possibilita uma maior flexibilidade e eficiência na programação, mas com a contrapartida de oferecer um maior nível de dificuldade ao aprendizado. Os microcontroladores PIC trabalham em velocidades de 0 kHz a 40 MHz, até 2048k *word* de memória de programa e até 3968 bytes de memória RAM.

A arquitetura de construção dos PICs é otimizada para a execução de um pequeno conjunto de instruções, mas com velocidade muito alta. De fato, podemos obter velocidades de até 5 MIPS (Milhões de Instruções Por Segundo) com um PIC da série 16 bits trabalhando a 20 MHz ou 10 MIPS trabalhando a 40 MHz, o que é um desempenho bastante expressivo, suficiente mesmo para as aplicações mais exigentes (PEREIRA, 2002). Os microcontroladores PIC funcionam com tensões de alimentação de 2 V a 6 V e os modelos possuem encapsulamento de 6 a 100 pinos dependendo do modelo e em diversos formatos (SOT23, DIP, SOIC, etc.).

#### 4.1.1. Microcontrolador PIC16F628A

O microcontrolador escolhido para a execução deste trabalho é da família PIC de 14 bits modelo PIC16F628A, o qual está mostrado na Figura 4.1:

---

RISC (Reduced Instruction Set Computer) é um computador com um conjunto reduzido de instruções.

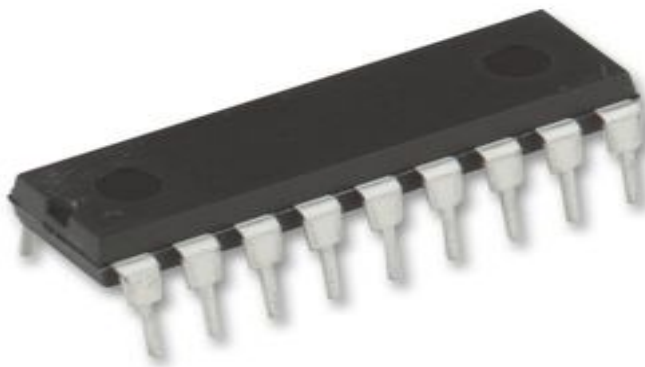


Figura 4.1. PIC16F628A.

Fonte: CONSOLE-REPAIRS, 2007.

O PIC16F628A dispõe de 2048 palavras de 14 bits com 224 bits de memória RAM e 128 bytes de memória EEPROM e lhe permite guardar informações mesmo após ter sido removida a tensão de alimentação. Possui uma interface USART (Universal Synchronous / Assynchronous Receiver / Transmitter) que permite comunicar diretamente com outros dispositivos que utilizam este tipo de interface como os computadores PC através da sua porta RS-232. A Tabela 4.1 mostra algumas das características de funcionamento do PIC16F628A:

Tabela 4.1 – Algumas Características do PIC16F628A

Temperatura de trabalho	-40°C até +125°C
Tensão de trabalho	3.0V a 5.5V
Corrente máxima de entrada no pino Vdd	250 mA

Fonte: SOUZA, 2003. p. 39.

Para além das vantagens referidas, este microcontrolador possui dois osciladores internos (4 MHz e 37 kHz) o que faz com que não seja necessário utilizar um cristal de quartzo em muitas aplicações. Seu encapsulamento DIP é de 18 pinos e pode ser programado com 35 instruções disponíveis.

## 4.2. COMUNICAÇÃO SERIAL

O CI que está sendo largamente utilizado é o MAX232, mostrado na Figura 4.2. Ele inclui um circuito capaz de gerar tensões de +10V e -10V a partir de uma fonte de alimentação simples de +5V, bastando para isso alguns capacitores externos. Este CI também tem 2 *receivers* e 2 *drivers* no mesmo encapsulamento. Nos casos onde serão implementados somente as linhas de transmissão e de recepção de dados, não seria necessário 2 chips e fontes de alimentação extras.

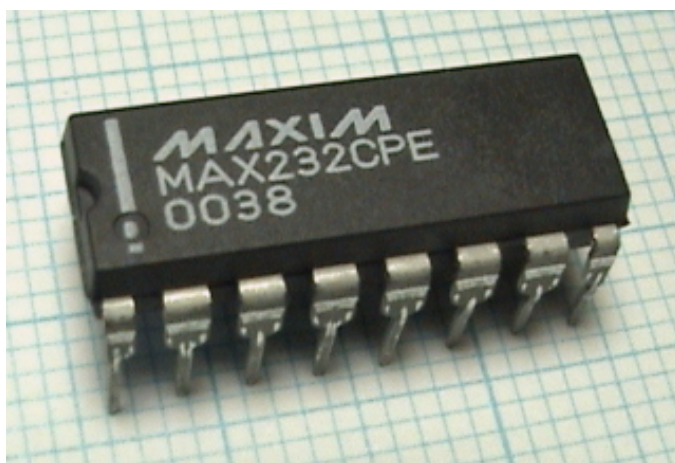


Figura 4.2. MAX232.

Fonte: NIFTY, 2007.

Nos processos mais simples de comunicação apenas os pinos TXD e RXD são utilizados. No Anexo B é mostrado o diagrama de ligação dos pinos do MAX232.

## CAPÍTULO 5 – SOFTWARES

### 5.1. MPLAB®

O *MPLAB®* é um programa para PC, que roda sobre a plataforma Windows, e serve como ambiente de desenvolvimento de programas para PICs. O *MPLAB®* é uma ferramenta muito poderosa e um dos principais responsáveis pela popularização do PIC, pois junta, no mesmo ambiente, o gerenciamento de projetos, a compilação, a simulação, a emulação e a gravação do chip. A linguagem padrão do *MPLAB®* é o *assembly*.

### 5.2. COMPILADOR CCS C

O compilador CCS C, versão 4.023, consiste em um ambiente integrado de desenvolvimento para o sistema operacional *Windows®* e suporta a maior parte dos microcontroladores PIC.

Todo compilador, seja ele C, Pascal, BASIC, etc., possui uma lista de comandos internos que não são diretamente traduzidos em código. Esses comandos são, na realidade, utilizados para especificar determinados parâmetros internos utilizados pelo compilador no momento de compilar o código-fonte e são chamados de diretivas do compilador ou diretivas de pré-processador (PEREIRA, 2002).

O compilador CCS C possui uma grande quantidade de diretivas que podem ser utilizadas para controlar diversos parâmetros. Algumas delas são:

- **#FUSES:** É uma diretiva para programar as opções da palavra de configuração (*configuration word*) dos PICs dizendo, por exemplo, se a programação em baixa tensão (*LVP*) esta habilitada, se o *reset* por queda de tensão esta habilitado (*BROWNOUT*), dentre outros.
- **#RS232:** Ativa o suporte a comunicação serial bastante utilizado quando se quer comunicar com o computador, por exemplo.



O *Proteus®* engloba os softwares *ISIS* que cria o circuito eletrônico e *ARES* responsável por confeccionar o esquemático para placas de circuito impresso.

#### 5.4. MATLAB®

O *MATLAB®* (*MATrix LABoratory* – Laboratório de Matrizes), Versão 7, é um programa de computador especializado e otimizado para cálculos científicos e de engenharia. Inicialmente, era projetado pra cálculos com matrizes; ao longo dos anos, transformou-se em um sistema computacional flexível, capaz de resolver essencialmente qualquer problema técnico. Na Figura 5.2 pode-se ver a tela principal do *MATLAB®*:

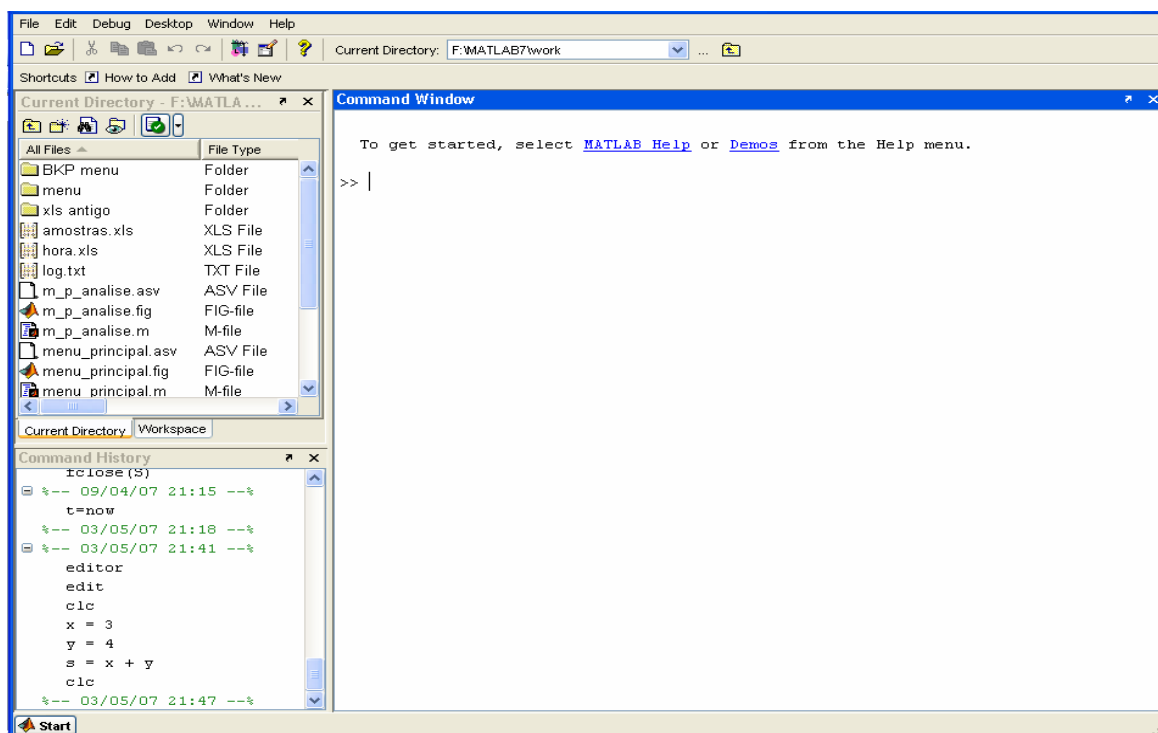


Figura 5.2. – Tela do *MATLAB®*.

O programa *MATLAB®* implementa a linguagem de programação *MATLAB®*, juntamente com uma grande biblioteca de funções pré-definidas que tornam as tarefas de programação mais fáceis e eficientes. Existem ferramentas adicionais que ampliam seus recursos com muitas funções em diferentes especialidades como a biblioteca de funções matemáticas que é composto por mais de 1.000 funções, desde as mais elementares, como soma e divisão, até as mais sofisticadas, como inversas de matrizes, transformadas de *Fourier*.

O *MATLAB®* também utiliza a biblioteca *API* (*Application Program Interface*) que permite integrar o programa com funções desenvolvidas em C. Élia Yathie Matsumoto (2004. p 25) cita que, as aplicações típicas deste *software* incluem:

- Matemática e computação;
- Desenvolvimento de algoritmos;
- Aquisição e análise de dados;
- Visualização de resultados;
- Desenvolvimento de aplicativos.

A visualização de resultados pode ser mostrada na forma de gráficos, utilizando o comando *bar*, envolvendo leituras de dados externos e cálculos. A seguir, tem-se na Figura 5.3 um exemplo de um gráfico gerado pela função *bar*:

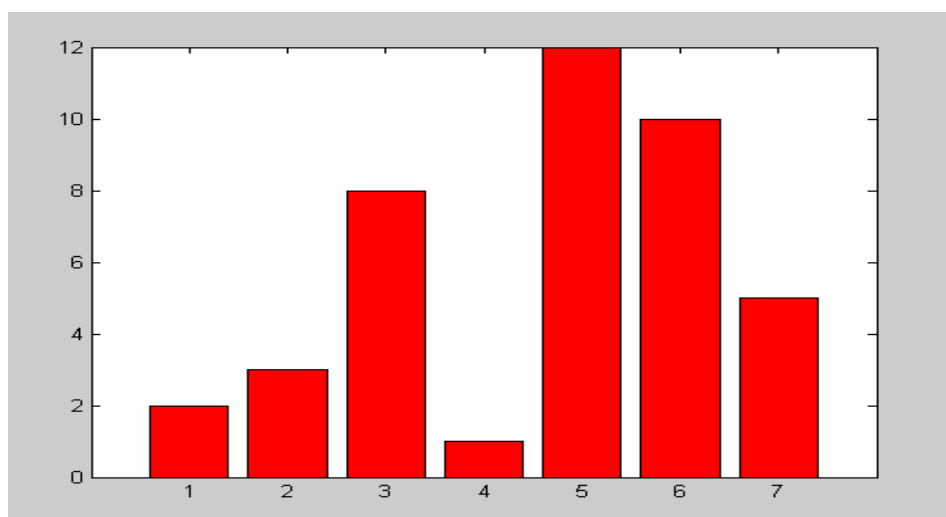


Figura 5.3 – Gráfico gerado no *MATLAB®*.

De acordo com (CHAPMAN, 2003) O *MATLAB®* possui muitas vantagens, em comparação com linguagens computacionais convencionais, para resolver problemas técnicos. Dentre elas temos a facilidade de uso, a independência de plataforma, uma grande biblioteca de funções predefinidas, a construção de uma interface gráfica interativa, dentre outros. Por outro lado, o *MATLAB®* apresenta duas desvantagens principais: a primeira, é uma linguagem interpretada, isso pode ser mais lento que linguagens compiladas; a segunda desvantagem é o custo, já que uma cópia completa do *MATLAB®* pode custar até 10 vezes o valor de um compilador convencional C, por exemplo.



Qualquer código em *MATLAB®* pode ser desenvolvido/gerenciado com o uso do *Editor*, uma ferramenta interna que possui diversos recursos para o desenvolvimento de rotinas ou funções. Uma tela do *Editor* se encontra na Figura 5.4:

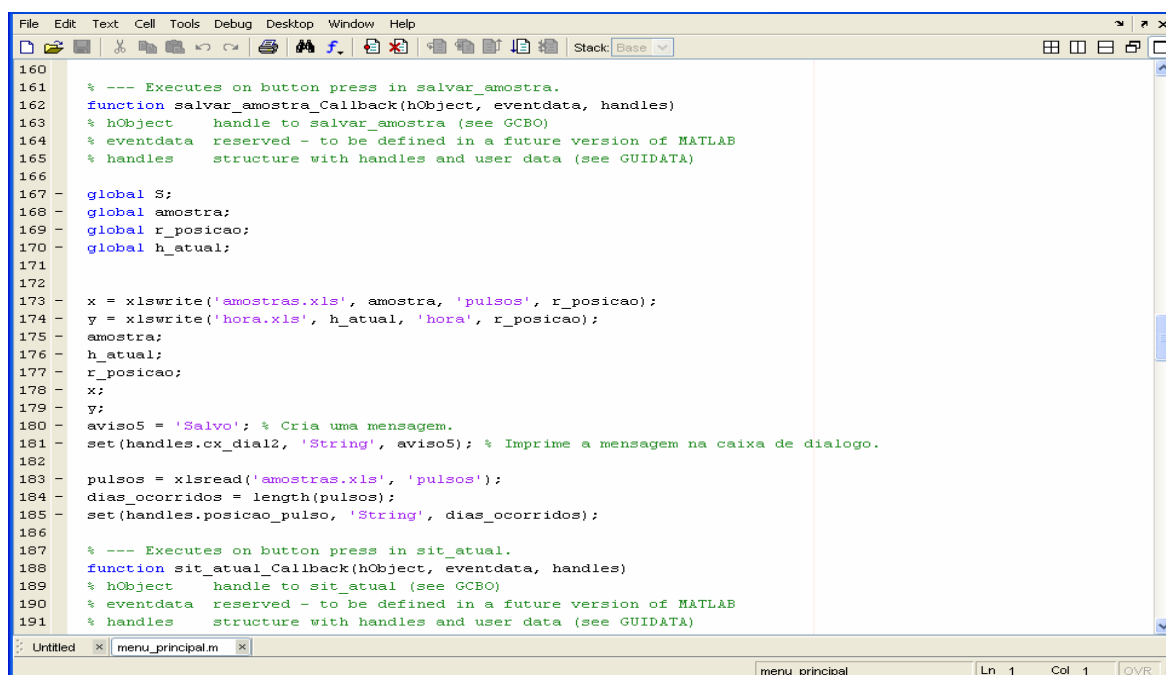


Figura 5.4. – Tela do *Editor*.

O *Editor* foi constantemente utilizado nesse trabalho, para o desenvolvimento das rotinas e funções que compõem o programa os quais interpretam os pulsos lidos na porta serial.

#### 5.4.1. Interface GUI

Uma interface de usuário GUI (*Graphical User Interface*) é uma interface pictórica com um programa. Uma boa GUI pode tornar os programas mais fáceis de usar, ao fornecer para eles uma aparência consistente e com controles intuitivos como botões, caixas de listagens, réguas, menus, dentre outros. As GUIs do *MATLAB®* são criadas utilizando o ambiente de desenvolvimento denominada GUIDE (*GUI – Development Environment*). Essa ferramenta permite que um programador projete, selecione e alinhe os componentes colocados na GUI, editando suas propriedades tais como: nome, cor, fonte e outros (CHAPMAN, 2003). Na Figura 5.5 é mostrada a tela do ambiente de desenvolvimento GUIDE e um programa para calcular a massa de um corpo.

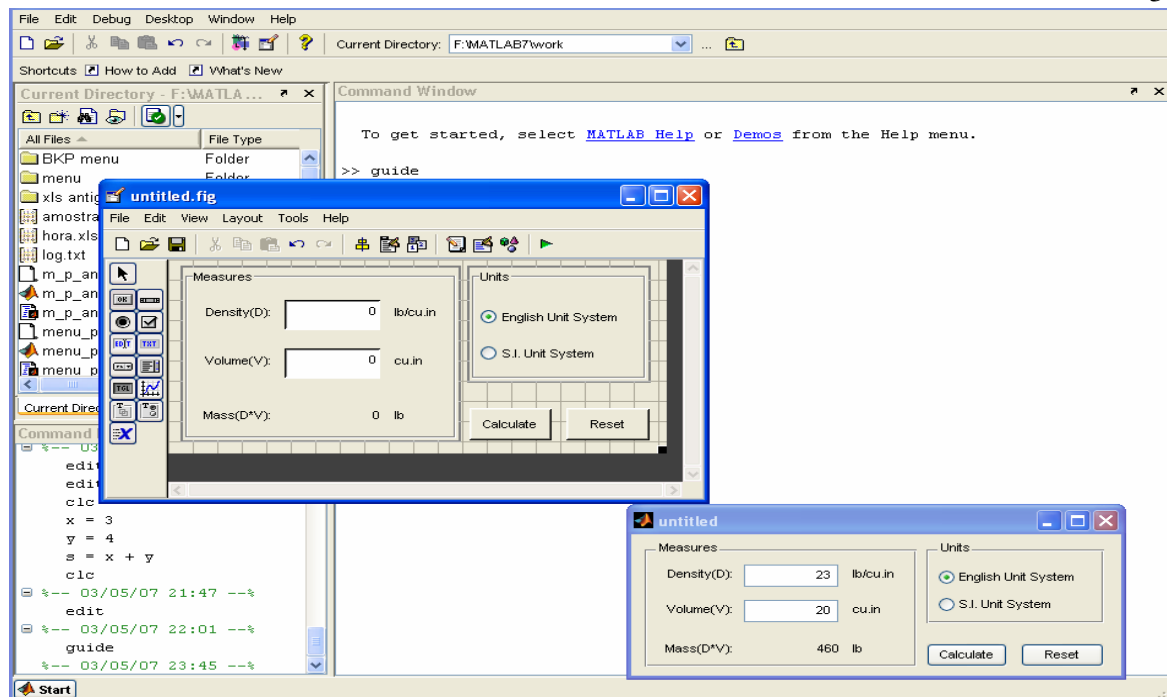


Figura 5.5. Tela do GUIDE.

Uma GUI proporciona ao usuário criar diferentes programas para auxiliar na manipulação de dados, por exemplo.



## 6.2. MONTAGEM FÍSICA DO CIRCUITO

O circuito foi montado em *protoboard*, onde foram executados pequenos ajustes para a montagem física dos componentes, tais como: a ligação dos pinos de alimentação e terra do microcontrolador que não aparecem na simulação, a utilização do MAX232 para comunicação serial e não mais o COMPIM, o uso de um regulador de tensão (7805) de 5V para a alimentação dos componentes e uma fonte de 7V para a alimentação do circuito. Na Figura 6.2 pode-se notar o circuito montado na *protoboard*.

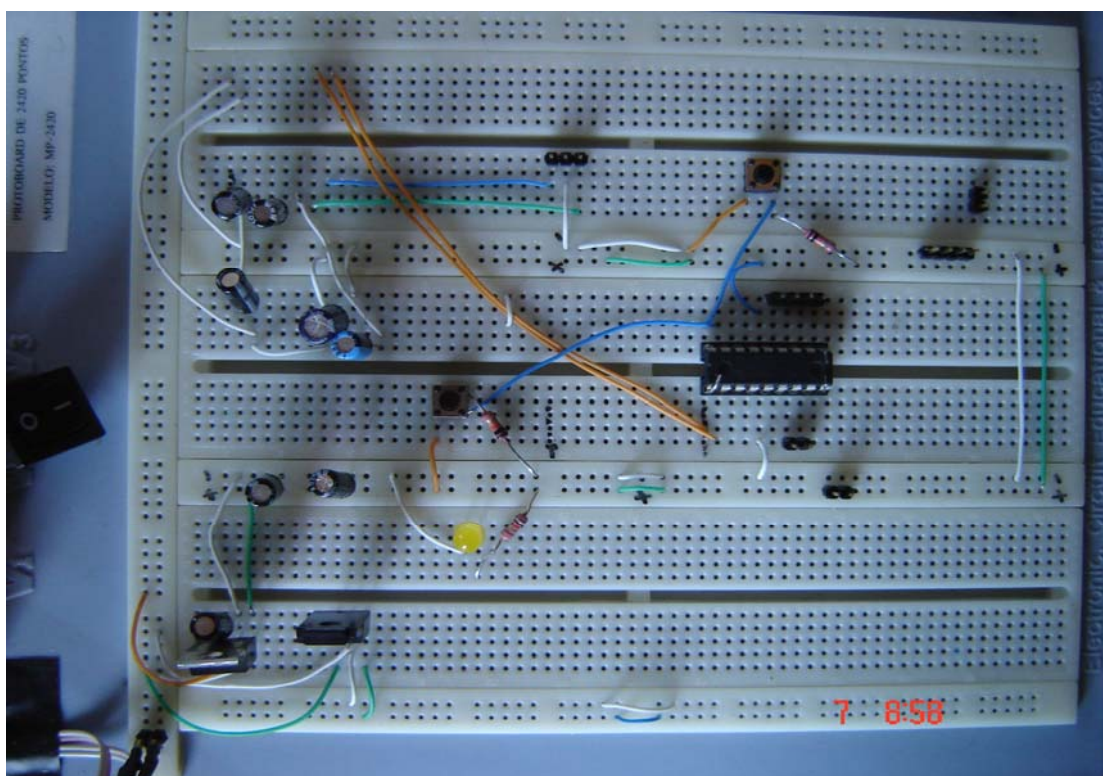


Figura 6.2 – Montagem do circuito na *protoboard*.

No circuito foi utilizado um LED para demonstrar sua atividade, ou seja, se em operação ou não. No Apêndice E podem-se visualizar mais fotos do respectivo hardware.

## 6.3. CRIAÇÃO DO PROGRAMA DE INTERPRETAÇÃO DOS PULSOS

O programa de interpretação dos pulsos – Sistema de Controle de Água – é responsável pela leitura e interpretação dos dados enviados pelo hardware para

a porta serial. A sua interface facilita a leitura e a visualização do consumo de água de uma residência. Na Figura 6.3 é mostrada a tela inicial do programa:

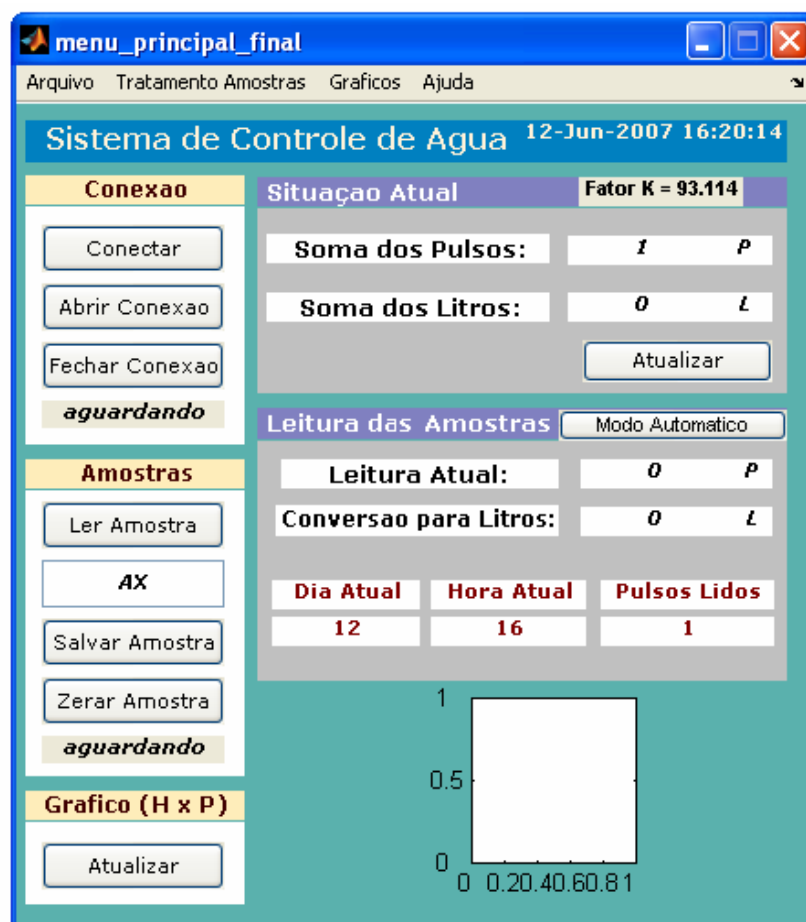


Figura 6.3 – Tela Inicial do Sistema de Controle de Água.

A tela inicial do programa mostra os menus Conexão, Amostras e Gráficos. O menu Conexão habilita o programa a fazer a abertura e o fechamento da conexão para a leitura da porta serial.

No menu Amostras é possível ler, salvar e zerar os pulsos que foram enviados para a porta serial. Esse processo é feito manualmente, diferentemente do Modo Automático, que lê, salva e zera os valores na porta serial automaticamente a cada hora ou num intervalo definido, como de 2 em 2 horas, por exemplo. O menu Gráfico mostra visualmente a quantidade de pulsos lidos por hora.

A interface também possui tabelas de visualização dos dados coletados. A tabela Situação Atual faz referência à soma dos pulsos e à sua transformação para litros, baseados no Fator K – explicado na seção 3.5 – de 93.114, para uma tubulação de 1 pol.

A tabela Leitura das Amostras, por sua vez, exibe a leitura atual dos pulsos e a sua conversão para litros.

O programa também exibe a hora, o dia e a quantidade de pulsos que foram lidos e salvos manualmente ou automaticamente.

Outra característica do programa é exibir uma forma mais detalhada do consumo de água, como mostrado na Figura 6.4:

Figura 6.4 – Tela de visualização do consumo de água.

A tela de visualização do consumo de água mostra a conversão dos dados salvos pelo programa de interpretação dos pulsos.

Na tabela Visualização é possível escolher o dia em que se quer consultar o consumo de água, assim como é possível escolher outro Fator K, se for necessário. O campo Quantidade de Leituras diz respeito a quantas amostras de pulsos foram coletadas ao longo do dia. No campo Conversão para Litros pode-se observar o total de pulsos lidos num dia e sua conversão para litros.

Na tabela Conversão são mostrados os litros de água que foram gastos no dia escolhido, a quantidade de água que ainda se pode gastar para chegar à meta definida e a faixa de consumo. Se o consumo de água ultrapassar o valor base de



750 litros, que se deve consumir ao longo do dia, será atribuída Faixa 1. Caso seja ultrapassada a meta base escolhida, será exibida Faixa 2. O campo Porcentagem mostra, em valores percentuais, a quantidade de água gasta e a quantidade disponível para ser gasta no dia. Essa porcentagem pode ser negativa ou positiva. Por exemplo, se o valor de porcentagem for negativo (-19,04%), significa que ainda há a possibilidade de se gastar 19,04% do valor base de 750L, ou seja, 142,77 litros. Logo, afirma-se que, no dia subsequente, possa ser gasta a porcentagem economizada no dia anterior. Se o valor da porcentagem for positivo (23,92%), atesta-se que o valor gasto de água ao longo do dia excedeu 23,92% do valor base de 750L, ou seja, 179,41 litros. Nessa hipótese, sugere-se que, em vista do gasto excessivo, economize-se o equivalente ao prejuízo observado no dia anterior.

#### 6.4. TESTES

Para o envio da contagem dos pulsos para a porta serial do computador foi feita a montagem do circuito em uma placa definitiva de fenolite, onde é possível fazer a soldagem dos componentes sobre as trilhas condutoras que substituem os fios utilizados na ligação dos componentes em *protoboard*. Na Figura 6.5 pode-se notar a visão geral do Protótipo. No Apêndice E podem ser visualizadas fotos mais detalhadas a respeito do hardware.

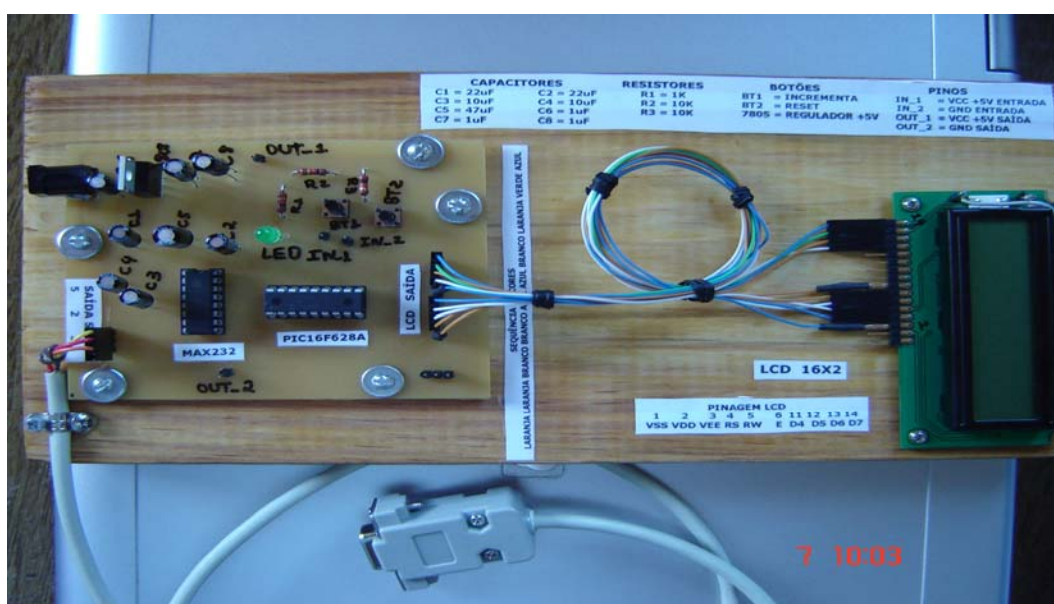


Figura 6.5 – Foto do Protótipo que Simula um Medidor de Vazão e Envia os Pulsos Coletados para Porta Serial.

Para a simulação de um medidor de vazão ligado à rede hidráulica de uma residência foi utilizado um botão que envia pulsos elétricos – explicados na seção 3.4 – de 5 V para o pino RA1 do microcontrolador, que interpreta esses pulsos como sua entrada de dados.

Dessa forma, a programação do microcontrolador foi feita para que, a cada entrada de dados do pino RA1, um contador seja incrementado em 1 e seu valor seja enviado para o módulo LCD, bem como para a porta serial do computador, onde será feita a leitura pelo *MATLAB®*.

#### 6.4.1. Dados Reais

Na Figura 6.6 é mostrada a coleta real dos pulsos utilizando o protótipo que simula o medidor de vazão. Para as leituras dos pulsos foi utilizado o Modo Automático, com um intervalo de leitura entre as amostras de 20 segundos.



Figura 6.6 – Tela Inicial do Sistema de Controle de Água.



No intervalo de 160 segundos foram acumulados 30.056 pulsos ou 322,79 litros de água. A última leitura, constatada na Figura 6.6, foi de 1024 pulsos, totalizando 10,99 litros. A quantidade de pulsos lidos e salvos totalizou 8 iterações no dia 12 de junho, às 15 horas.

A tela de Visualização das Amostras Diárias, constatada na Figura 6.7, mostra o consumo de água do dia 14, o dia escolhido.

Visualizacao	
Dia que se quer Visualizar:	14
Fator K (Base = 93.114):	93.114
Horas Acumuladas:	8
Pulsos Acumulados:	30056 P
Conversao para Litros:	322.787 L

Conversao Base (750 L)	
Litros Gastos no Dia:	322.787 L
Litros a Gastar no Dia:	427.213 L
Faixa de Consumo:	faixa 1
Porcentagem:	-56.9617 %

**Atualizar**

Figura 6.7 – Tela de Visualização das Amostras Diárias abaixo da média.

A tabela Visualização mostra o gasto de água do dia escolhido e a quantidade de iterações, bem como os pulsos acumulados e a sua conversão para litros. Na tabela Conversão a base de consumo do dia foi de 750 litros, com o Fator K no valor de 93,114, gerando-se dessa forma um gasto de 322,79 litros, ou seja, 427,21 litros a gastar no dia. Contudo, foi atribuída Faixa 1 para esse tipo de consumo, visto que o gasto não excedeu os 750 litros a serem consumidos no dia ou diariamente. O campo Porcentagem mostra um valor negativo de -56,96%. Portanto, ainda pode ser utilizada no dia 56,96% de água do valor base ou 427,21 litros. Em vista disto, sugere-se que no dia posterior possa ser gasta a porcentagem economizada no dia anterior.

Ao contrário do dia 14, a Figura 6.8 mostra um consumo excessivo de água para o dia 9 escolhido.

Visualizacao	
Dia que se quer Visualizar:	9
Fator K (Base = 93.114):	93.114
Horas Acumuladas:	8
Pulsos Acumulados:	80056 P
Conversao para Litros:	859.763 L

Conversao		Base (750 L)
Litros Gastos no Dia:	859.763	L
Litros a Gastar no Dia:	-109.763	L
Faixa de Consumo:	faixa 2	
Atualizar	Porcentagem:	14.6351 %

Figura 6.8 – Tela de Visualização das Amostras Diárias acima da média.

Pode-se analisar que, utilizando o mesmo Fator K, com a mesma quantidade de iterações e base de 750 litros o total de pulsos acumulados no dia foi de 80.056 e a sua conversão foi de 859,76 litros. O campo Conversão para Litros mostra que a quantidade ultrapassou a meta de 750 litros. Não obstante, a tabela Conversão exibe a quantidade de água que excedeu a meta. Dessa forma, é atribuída Faixa 2. O campo Porcentagem mostra que o gasto ultrapassou 14,64% do valor base. Nessa hipótese, sugere-se que no dia posterior o gasto de água deva ser de 640,20 litros, para compensar o consumo excessivo do dia anterior e com isso estabilizar o consumo a uma média aproximada de 750 litros de água a serem consumidos diariamente.

### 6.4.2. Dados simulados

Na Figura 6.9 é mostrada a tela inicial do Sistema de Controle de Água. Nessa etapa foi feita uma simulação do consumo de água de uma residência com 5 pessoas, sendo admitidas as conclusões a seguir.



Figura 6.9 – Tela Inicial do Programa dos Dados Simulados.

Inicialmente, percebe-se que o campo Pulsos Lidos informa o valor de 12 iterações, portanto, ao longo do dia, foram feitas 12 coletas dos pulsos no intervalo de 2 horas. O campo Soma dos Litros simula um gasto de 701,16 litros de água para o dia 12 de junho. As barras do gráfico estão ligadas às horas do dia. Dessa forma, nota-se que, às 8, 10 horas da manhã e às 16 horas da tarde, houve um consumo excessivo de água. Por exemplo, neste horário a família pode estar tomando banho, escovando os dentes e lavando as louças, dentre outras possibilidades que normalmente são executadas no horário de 8 às 10 horas. Para as 16 horas, a família pode estar lavando roupas ou fazendo algum tipo de

limpeza na casa. Na Figura 6.10 é mostrado o consumo do dia 18 abaixo de 750 litros.

The screenshot shows a software window titled 'm\_p\_analise\_dia' with a subtitle 'Visualizacao das Amostras Diarias'. It contains two main sections: 'Visualizacao' and 'Conversao'. The 'Visualizacao' section has input fields for 'Dia que se quer Visualizar:' (18), 'Fator K (Base = 93.114):' (93.114), 'Horas Acumuladas:' (10), 'Pulsos Acumulados:' (54761 P), and 'Conversao para Litros:' (588.107 L). The 'Conversao' section, with a base of 750 L, shows 'Litros Gastos no Dia:' (588.107 L), 'Litros a Gastar no Dia:' (161.893 L), 'Faixa de Consumo:' (faixa 1), and 'Porcentagem:' (-21.5857 %). An 'Atualizar' button is located at the bottom left of the 'Conversao' section.

Visualizacao	
Dia que se quer Visualizar:	18
Fator K (Base = 93.114):	93.114
Horas Acumuladas:	10
Pulsos Acumulados:	54761 P
Conversao para Litros:	588.107 L

Conversao Base (750 L)	
Litros Gastos no Dia:	588.107 L
Litros a Gastar no Dia:	161.893 L
Faixa de Consumo:	faixa 1
Porcentagem:	-21.5857 %

Atualizar

Figura 6.10 – Tela de visualização das amostras simuladas diárias abaixo da média base estabelecida de 750 litros ao longo do dia.

Na Figura 6.10 o consumo do dia 18 ficou abaixo de 750 litros, atribuindo-se, portanto, Faixa 1. Existe também a possibilidade de ser gasto 161,90 litros no dia seguinte. Na Figura 6.11 é mostrado o consumo do dia 28 acima dos 750 litros.

The screenshot shows the same software window as Figure 6.10, but for day 28. The 'Visualizacao' section shows 'Dia que se quer Visualizar:' (28), 'Fator K (Base = 93.114):' (93.114), 'Horas Acumuladas:' (6), 'Pulsos Acumulados:' (95273 P), and 'Conversao para Litros:' (1023.19 L). The 'Conversao' section, with a base of 750 L, shows 'Litros Gastos no Dia:' (1023.19 L), 'Litros a Gastar no Dia:' (-273.187 L), 'Faixa de Consumo:' (faixa 2), and 'Porcentagem:' (36.4249 %). An 'Atualizar' button is located at the bottom left of the 'Conversao' section.

Visualizacao	
Dia que se quer Visualizar:	28
Fator K (Base = 93.114):	93.114
Horas Acumuladas:	6
Pulsos Acumulados:	95273 P
Conversao para Litros:	1023.19 L

Conversao Base (750 L)	
Litros Gastos no Dia:	1023.19 L
Litros a Gastar no Dia:	-273.187 L
Faixa de Consumo:	faixa 2
Porcentagem:	36.4249 %

Atualizar

Figura 6.11 – Tela de visualização das amostras simuladas diárias acima da média base de 750 litros.

Na Figura 6.11 o consumo do dia 28 ficou acima dos 750 litros, atribuindo-se Faixa 2. Para manter a média de 750 litros diários, é imperativo que se reduza o consumo em 273.19 litros para o dia 29 ou se divida o gasto excessivo nos próximos 2 dias que faltam para completar o mês, ficando em torno de 136,60 litros. Na Figura 6.12 é mostrado o consumo do mês 8 (Agosto) abaixo da média de 22.600 litros.

The screenshot shows a software window titled 'm\_p\_analise\_mes' with a subtitle 'Visualizacao das Amostras Mensais'. It contains two main sections: 'Visualizacao' and 'Conversao'. The 'Visualizacao' section displays input and calculated values for month 8. The 'Conversao' section shows the conversion of these values relative to a base of 22,600 L, including a percentage calculation for the following month.

Visualizacao	
Mes que se quer Visualizar:	8
Fator K (Base = 93.114):	93.114
Dias Acumulados:	23
Pulsos Acumulados:	927088 P
Conversao para Litros:	9956.48 L

Conversao		Base (22600 L)
Litros Gastos no Mes	9956.48	L
Litros a Gastar no Mes	12643.5	L
Faixa de Consumo:	faixa 1	R
Porcentagem:		
-55.9448		%

Atualizar

Figura 6.12 – Tela de visualização das amostras simuladas mensais abaixo da media base de 22.600 litros.

Com a base de 750 litros diários a serem consumidos é feita uma simulação para o gasto ao longo do mês. Neste caso, a base mensal agora é de 22.600 litros. Na Figura 6.12 pode-se observar com atenção e minúcia que o gasto não ultrapassou a base mensal, ficando em torno de 9.956,50 litros, atribuindo-se Faixa 1. O campo Porcentagem indica que no mês seguinte é possível ser gasto 55,95% de 22.600 litros, ou 12.643,50 litros. Logo, no mês 9 (Setembro), a família pode ter um gasto acima da base de no máximo 35.243,50 litros para seu consumo. Tal gasto pode ser mais bem observado em atividades como: lavagem do carro, da garagem ou da área de serviço, dentre outras possibilidades que acabam resultando num gasto excessivo. Na Figura 6.13 é mostrado um gasto excessivo no mês 5 (Maio).

The screenshot shows a software window titled 'm\_p\_analise\_mes' with a subtitle 'Visualizacao das Amostras Mensais'. It contains two main sections: 'Visualizacao' and 'Conversao Base (22600 L)'. The 'Visualizacao' section displays input and calculated values for month 5. The 'Conversao' section shows the conversion of these values into liters and a consumption percentage.

Visualizacao	
Mes que se quer Visualizar:	5
Fator K (Base = 93.114):	93.114
Dias Acumulados:	12
Pulsos Acumulados:	2.67883e+ P
Conversao para Litros:	28769.4 L

Conversao Base (22600 L)	
Litros Gastos no Mes	28769.4 L
Litros a Gastar no Mes	-6169.39 L
Faixa de Consumo:	faixa 2 R
Atualizar	Porcentagem: 27.2982 %

Figura 6.13 – Tela de visualização das amostras simuladas mensais acima da media base de 22.600 litros.

O campo Pulsos Acumulados utiliza uma notação matemática utilizada pelo *MATLAB®* para representar um número muito grande. O valor acumulado neste mês foi de aproximadamente 2.678 890 ou 2,68 milhões de pulsos, atribuindo-se Faixa 2. Para que o consumo mensal esteja na média de 22.600 litros é de suma importância que no mês seguinte o consumo não ultrapasse o valor de 16.430,20 litros ou aproximadamente 2.347,17 litros de água até o mês 12 (Dezembro). Entretanto, a família deve reduzir o consumo no mês 6 (Junho) ou majorar o gasto ao longo dos próximos meses diminuindo, por exemplo, a quantidade de vezes que o carro é lavado, não molhar as plantas nos dias de chuva, reciclar a água da máquina de lavar roupas ou até mesmo coletar a água da chuva, através de calhas, para outros fins. Por fim, a família deverá buscar novos meios para a redução do consumo de água para o devido atendimento às metas preestabelecidas.

## 6.5. GRÁFICOS DO CONSUMO DE ÁGUA

Os gráficos da seção 6.5 foram produzidos através do simulador de consumo de água do site da Sabesp – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – disponível em: <http://www.sabesp.com.br/CalandraWeb/animacoes/index.html>.

Para a simulação do consumo de água, foram utilizadas as seguintes configurações:

Tabela 6.1 – Consumo Médio para uma Família com 5 pessoas.

<b>BANHEIRO</b>				
<i>Equipamento</i>	<i>Abertura</i>	<i>Tempo</i>	<i>Vezes</i>	<i>Gasto (Litros)</i>
* Chuveiro Elétrico	1 Volta	30 Minutos	2	360,00
* Torneira	½ Volta	9 Minutos	3	64,80
* Sanitário com Válvula			12	72,00
<b>COZINHA</b>				
<i>Equipamento</i>	<i>Abertura</i>	<i>Tempo</i>	<i>Vezes</i>	<i>Gasto (Litros)</i>
* Torneira de Pia com Água da Caixa	1 Volta	9 Minutos	3	372,60
<b>QUINTAL</b>				
<i>Equipamento</i>	<i>Abertura</i>	<i>Tempo</i>	<i>Vezes</i>	<i>Gasto (Litros)</i>
* Torneira de Quintal	1 Volta	20 Minutos	1	312,00
<b>LAVANDERIA</b>				
<i>Equipamento</i>	<i>Abertura</i>	<i>Tempo</i>	<i>Vezes</i>	<i>Gasto (Litros)</i>
* Torneira do Tanque	1 Volta	20 Minutos	1	312,00
* Máquina de Lavar			2	270,00

Fonte: Simulador Sabesp.

Através dos resultados retornados pelo simulador da Sabesp o consumo de água de uma família com 5 pessoas foi simulado no Sistema de Controle de Água gerando, dessa forma, gráficos que melhor representam um possível consumo ao longo do dia. A média base ficou em torno de 1.181,40 litros diários. Na Figura 6.14 pode-se notar a distribuição do consumo de água ao longo do dia.

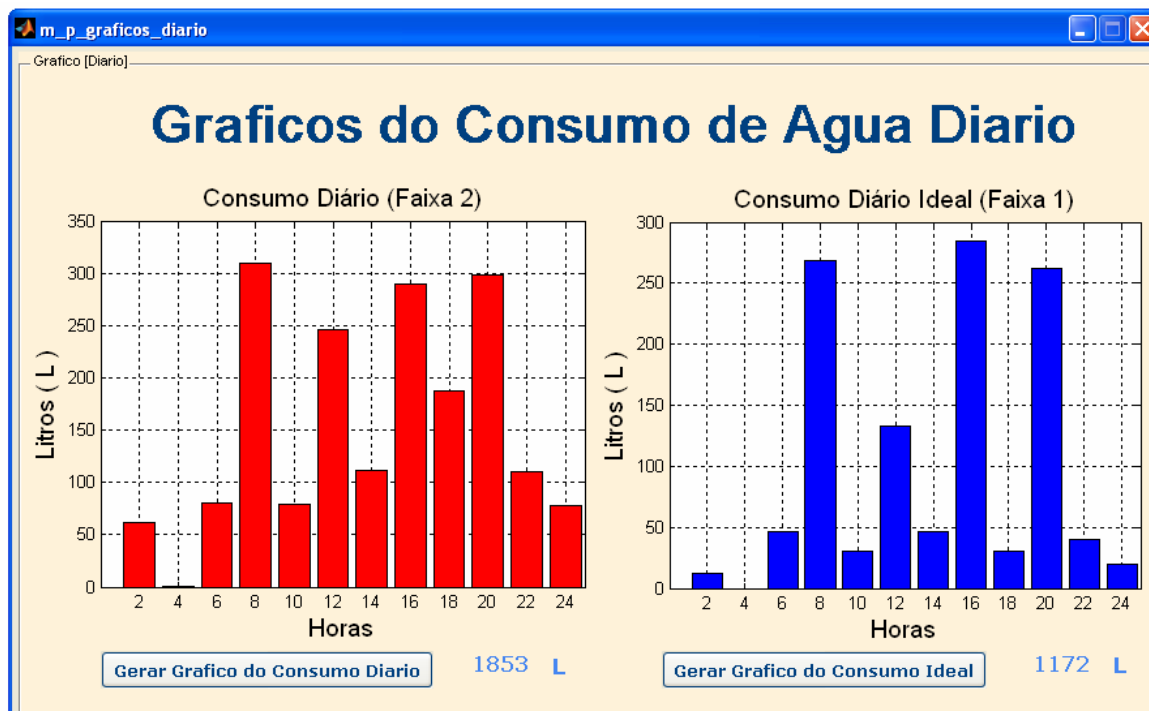


Figura 6.14 – Gráfico do consumo de água diário baseado no simulador da Sabesp.

Este consumo foi atribuído para os dias em que não foram usadas a torneira de quintal e a máquina de lavar roupas. Neste caso, a quantidade de água consumida foi de 1.172,00 litros para uma leitura a cada 2 horas e, por conseguinte, é atribuída Faixa 1 a esse consumo. As horas de maior consumo foram às 8, 16 e 20 horas. O gráfico também mostra uma distribuição utilizando todos os equipamentos citados na Tabela 6.1. A quantidade de água consumida para esse tipo de distribuição foi de 1.853 litros para uma leitura a cada 2 horas e, assim, é atribuída Faixa 2. As horas de maior consumo foram às 8, 12, 16, 18 e 20 horas. Na Figura 6.15 é mostrado o Gráfico do Consumo de Água Semanal.



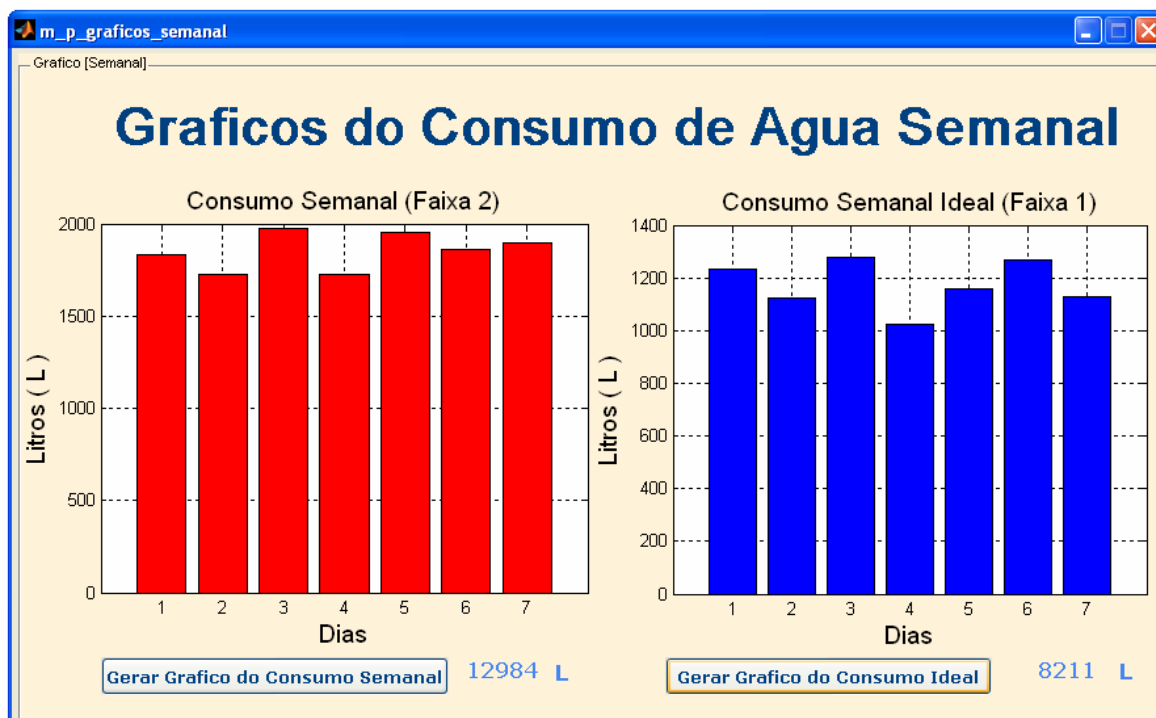


Figura 6.15 – Gráfico do consumo de água semanal baseado no simulador da Sabesp.

Com base nas faixas de consumo da Figura 6.14, a anterior, de 1.172 para a Faixa 1 e 1.853 para a Faixa 2. São exibidas 7 iterações, referenciando os dias da semana. Pode-se concluir que se o gasto da Faixa 1, como mostrado na Figura 6.14, não aumentar, a distribuição ao longo da semana será parecida com a Faixa 1 do consumo semanal. Se a Faixa 2, citada na Figura 6.14, não estiver reduzida seu consumo ao longo da semana será de aproximadamente 12.984 litros, como mostrado na Figura 6.15. Na Figura 6.16 é mostrado uma distribuição ao longo de 30 dias.

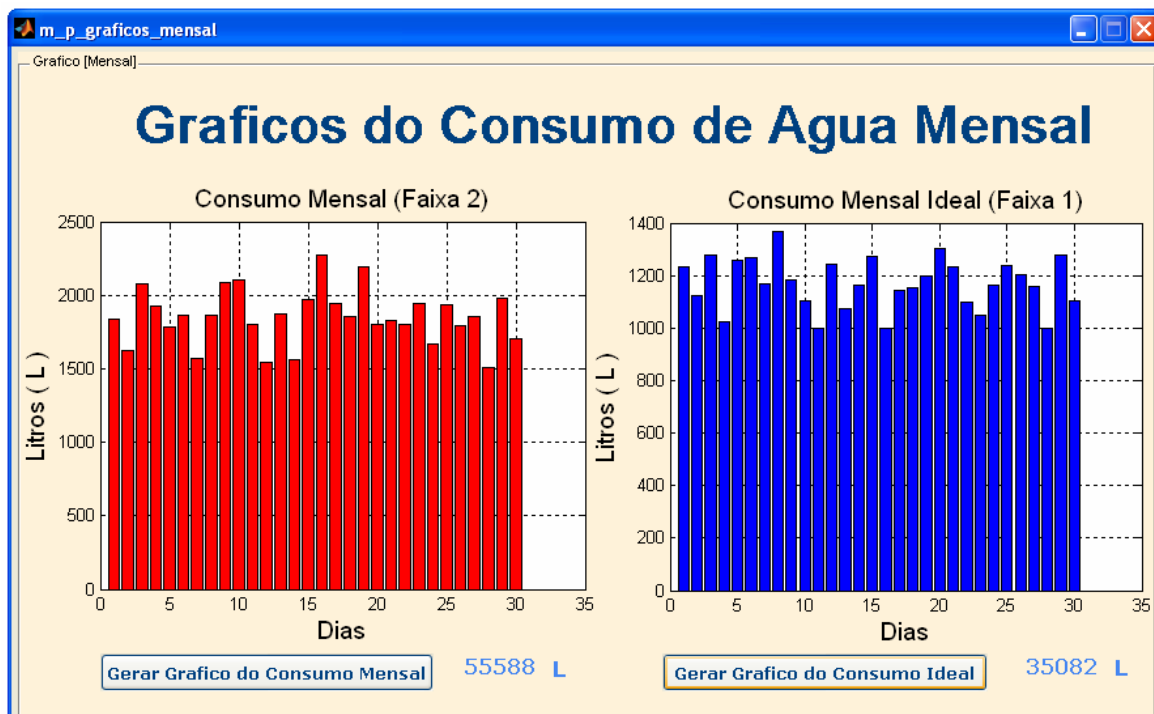


Figura 6.16 – Gráfico do consumo de água mensal baseado no simulador da Sabesp

Como de costume é exibida Faixa 1 para os consumos abaixo da média e Faixa 2 para os consumos acima da média. É de extrema importância fazer os ajustes nos consumos diários para que, ao final do mês, seja alcançado um valor máximo de água compatível com os gastos racionais, como, por exemplo, de 35.082 litros, podendo assim haver uma redução satisfatória na conta de água cobrada pela companhia de água e esgoto.

## CAPÍTULO 7 – CONCLUSÃO

Neste projeto foi apresentado um sistema de monitoração do consumo de água residencial utilizando um medidor de vazão ligado à rede hidráulica, onde através de um programa utilizando o *MATLAB®*, é possível ter um controle mais eficiente do consumo de água. Foi abordada de forma sucinta a teoria de mecânica dos fluidos, necessária ao entendimento do escoamento de água no interior de um tubo. Foram apresentados os principais tipos de medidores de vazão, dando ênfase ao medidor *2536 Rotor-X Flow Sensor* escolhido. Um protótipo foi montado, utilizando o microcontrolador PIC16F628A, para simular o medidor citado, através do envio de pulsos elétricos para a porta serial do computador, onde é interpretado pelo Sistema de Controle de Água, retornando de forma interativa o respectivo gasto.

Os resultados obtidos nos teste foram de acordo com os previstos previamente neste trabalho. O programa, em todas as etapas de simulação, interpretou satisfatoriamente os dados enviados pelo protótipo à porta serial. As telas de visualização que exibem os gráficos de consumo diário, semanal e mensal apresentaram os resultados de acordo com os dados recebidos pela porta serial.

Este projeto apresenta restrições quanto a forma de interpretação dos dados enviados pela porta serial, pois o *MATLAB®* é uma ferramenta para cálculos científicos e de engenharia, onde há restrições quanto a exibição e interatividade dos dados exibidos nas telas de visualização. Tais restrições trouxeram algumas dificuldades na criação do Sistema de Controle de Água, como a manipulação das funções de leitura e escrita em arquivos utilizados pelo *MATLAB®* e principalmente a utilização do comando *help* para a pesquisa das funções utilizadas no código do programa. Um software elaborado em outro ambiente de programação poderia interpretar de forma mais completa e interativa os dados da porta serial.

Para a elaboração do hardware deste projeto, a maior dificuldade encontrada foi a construção do circuito no simulador *Proteus®*, pois foram necessárias horas de simulação para que se conseguisse um hardware capaz de

simular de forma mais realística possível, o medidor de vazão proposto, uma vez que não foi possível utilizar um medidor real, devido ao seu alto custo.

Como não foi possível obter o *2536 Rotor-X Flow Sensor*, sugere-se para trabalhos futuros a construção de um circuito capaz de interpretar com o máximo de precisão os pulsos que são gerados neste, através de testes reais, utilizando o medidor ligado à rede hidráulica de uma residência. Logo após esse processo é desejável criar uma aplicação mais completa, utilizando outras linguagens de desenvolvimento de *software*, tais como: Java, Delphi, C# e assim por diante. Essas linguagens propiciam maior flexibilidade para a construção de uma interface mais amigável, com possibilidades de expansão do sistema à Web ou a sistemas distribuídos.

Os objetivos propostos foram atendidos com o desenvolvimento do referido trabalho.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Luciane Barbosa de. *Animatrônicos*. Brasília, 2005. 112f. Monografia (Projeto Final de Graduação do Curso de Engenharia da Computação) Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, Brasília, 2005.

ESCOLADAVIDA, *Apostila Unidade 3. Mecânica dos Fluidos Básica*. Disponível em <http://www-sigproc.eng.cam.ac.uk/~sjg/springer/index.html>. Acesso em 20 de Abril de 2007.

CAMARGO, Rosana. *A possível futura escassez de água doce que existe na terra, é a principal preocupação das autoridades*. Disponível em: <http://www.cefetsp.br/edu/sinergia/4p35.html>. Acesso em 25 de Junho de 2007.

CHAPMAN, Stephen J. *Programação em MATLAB® para engenheiros*; Tradução técnica Flavio Soares Ferreira da Silva. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. p. 390-392.

CONSOLE-REPAIRS, *Console-Repairs.co.uk*. Disponível em [http://console-repairs.co.uk/ecommerce/product\\_info.php?cPath=42&products\\_id=161](http://console-repairs.co.uk/ecommerce/product_info.php?cPath=42&products_id=161). Acesso em 05 de Maio de 2007.

CONTECH – *Indústria e comercio de equipamentos eletrônicos*. Disponível em: [http://www.contechind.com.br/catalogo/ct\\_svt.pdf](http://www.contechind.com.br/catalogo/ct_svt.pdf). Acesso em 29 de Abril de 2007.

FOX, Robert W; McDonald, Alan T. *Introdução à Mecânica dos Fluidos* 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

FLUIDOS IIIA, *Medidores comuns de vazão Pg 2*. Disponível em: <http://www.mspc.eng.br/fldetc/fluido3A.asp>. Acesso em 25 de Abril de 2007.

GEORG FISCHER. *2536 Rotor-x Flow Sensors Data Sheet*. Disponível em: [http://www.piping.georgfischer.com/static\\_site/65/doc/doc\\_request2-70.pdf?BB7801B2D60EB5FC0847372386D38D3C](http://www.piping.georgfischer.com/static_site/65/doc/doc_request2-70.pdf?BB7801B2D60EB5FC0847372386D38D3C). Acesso em 06 de Maio de 2007.

GILES, Randal V. *Mecânica dos Fluidos e Hidráulica* – São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982. 106p.

ISMAIL, Kamal A. R. *Instrumentação básica para engenharia*. Campinas, SP: Ed. do autor, 1998.

MATSUMOTO, Elia Yathie. *MATLAB® 7: Fundamentos*. 1ª ed. São Paulo: Érica, 2004.

MAXIM. *Data sheet MAX232* Disponível em: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX220-MAX249.pdf>. Acesso em 08 de Maio de 2007. 17Pp.

MICROCHIP. *PIC16F628A Data Sheet*. Disponível em: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40044F.pdf>. Acesso em 05 de Maio de 2007.

NIFTY, *Nifty.com*. Disponível em: <http://homepage1.nifty.com/x6/elecmake/parts/ic/MAX232.jpg>. Acesso em 08 de Maio de 2007.

NIVETEC, *Medidor de vazão tipo rotor magnético*. Disponível em: <http://www.nivetec.com.br/htm/medvazaorotormagnetico.htm>. Acesso em 01 de Maio de 2007.

OMEGA, *Turbine and Paddle Wheel Flowmeters: Technical Reference Section*. Disponível em: [http://www.omega.com/toc\\_asp/frameset.html?book=Green&file=TURBINE\\_PADDLE\\_REF](http://www.omega.com/toc_asp/frameset.html?book=Green&file=TURBINE_PADDLE_REF). Acesso em 27 de abril de 2007.

PEREIRA, Fabio. *Microcontroladores PIC: Técnicas Avançadas*. São Paulo: Érica, 2002. p. 35-36.

POTTER, Merle C. *Mecânica dos Fluidos* – São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. 221p.

PULSEINSTRUMENTS, *Flow Meter, Digital Flowmeter with molded in-line body* Disponível em: [http://www.pulseinstruments.net/index.asp?PageAction=VIEW\\_PROD&ProdID=1257](http://www.pulseinstruments.net/index.asp?PageAction=VIEW_PROD&ProdID=1257). Acesso em 29 de Abril de 2007.

ROMA, Woodrow Nelson L. *Fenômenos de transporte para engenharia*. São Carlos: RiMa, 2003.

SCIELO, *REM: Revista Escola de Minas*. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-4672005000100014](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-4672005000100014). Acesso em 30 de Abril de 2007.

SIMULACAO DE REYNOLDS, *Apostila Simulação de Reynolds 3*. Disponível em <http://www.escoladavida.eng.br/mecflubasica/Apostila/Unidade%203/Simulacao%20de%20Reynolds%20un%203.pdf>. Acesso em 20 de Abril de 2007.

SOUZA, David Jose de. *Desbravando o PIC: Ampliado e atualizado para PIC 16F628A*. 6ª ed. São Paulo: Érica, 2003.

SOUZA, Zulcy de. *Instrumentação para sistemas energéticos e industriais*. Itajubá, MG: Ed. do Autor, 2006.

TELLES, Pedro Carlos da Silva. *Tubulações Industriais Materiais, Projeto, Montagem*. 10ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

TELLES, Pedro Carlos da Silva. *Tubulações Industriais Cálculo*. 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

## ANEXO A – Descrição dos pinos - PIC16F628A

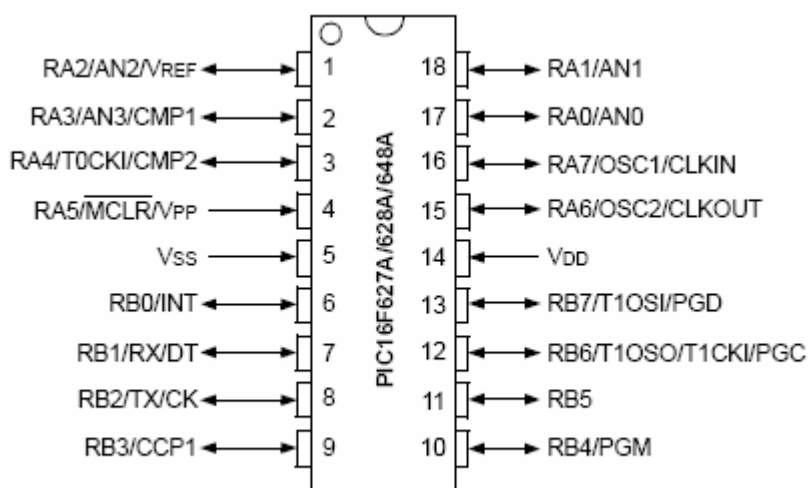


Figura A.1 – Diagrama dos pinos.

Fonte: MICROCHIP, 2007.

Tabela A.1 – Descrição dos pinos PIC16F628A.

Pino	Função	Tipo	Descrição
1	RA2/AN2/Vref	Entrada / Saída	Porta A (bit 2) / entrada do comparador analógico / saída de referencia de tensão.
2	RA3/AN3/CMP1	Entrada / Saída	Porta A (bit 3) / entrada do comparador analógico / saída do comparador 1.
3	RA4/T0CKI/CMP2	Entrada / Saída	Porta A (bit 4) / entrada de <i>clock</i> externo do timer 0 / saída do comparador 2.
4	RA5/MCLR/THV	Entrada	Porta A (bit 5) / <i>reset</i> CPU / tensão de programação.
5	Vss	Alimentação	Terra.
6	RB0/INT	Entrada / Saída	Porta B (bit 0) / entrada de interrupção externa.
7	RB1/RX/DT	Entrada / Saída	Porta B (bit 1) / recepção USART (assíncrono) / <i>clock</i> (síncrono).

Fonte: ANDRADE, 2005, p. 53.

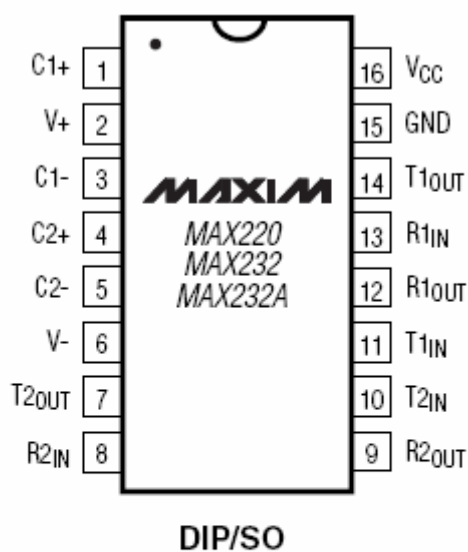


Tabela A.2 – Descrição dos pinos PIC16F628A (Continuação).

Pino	Função	Tipo	Descrição
8	RB2/TX/CK	Entrada / Saída	Porta B (bit 2) / transmissão USART (assíncrono) / <i>clock</i> (síncrono).
9	RB3/CCP1	Entrada / Saída	Porta B (bit 3) / entrada / saída do módulo.
10	RB4/PGM	Entrada / Saída	Porta B (bit 4) / entrada de programação LVP.
11	RB5	Entrada / Saída	Porta B (bit 5).
12	RB6/T1OSO/T1CKI	Entrada / Saída	Porta B (bit 6) / saída do oscilador TMR1 / entrada <i>clock</i> TMR1.
13	RB7/T1OSI	Entrada / Saída	Porta B (bit 7) / entrada do oscilador TMR1.
14	Vdd	Alimentação	Alimentação positiva.
15	RA6/OSC2/CLKOUT	Entrada / Saída	Porta A (bit 6) / entrada para o cristal oscilador / saída de <i>clock</i> .
16	RA7OSC1/CLKIN	Entrada / Saída	Porta A (bit 7) / entrada para o cristal oscilador / entrada de <i>clock</i> externo.
17	RA0/AN0	Entrada / Saída	Porta A (bit 0) / entrada comparador analógico.
18	RA1/AN1	Entrada / Saída	Porta A (bit 1) / entrada comparador analógico.

Fonte: ANDRADE, 2005, p. 54.

## ANEXO B – Descrição dos pinos MAX232



CAPACITANCE ( $\mu$ F)					
DEVICE	C1	C2	C3	C4	C5
MAX220	4.7	4.7	10	10	4.7
MAX232	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
MAX232A	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Figura B.1 – Descrição dos pinos e capacitores do MAX 232.

Fonte: MAXIM, 2007.

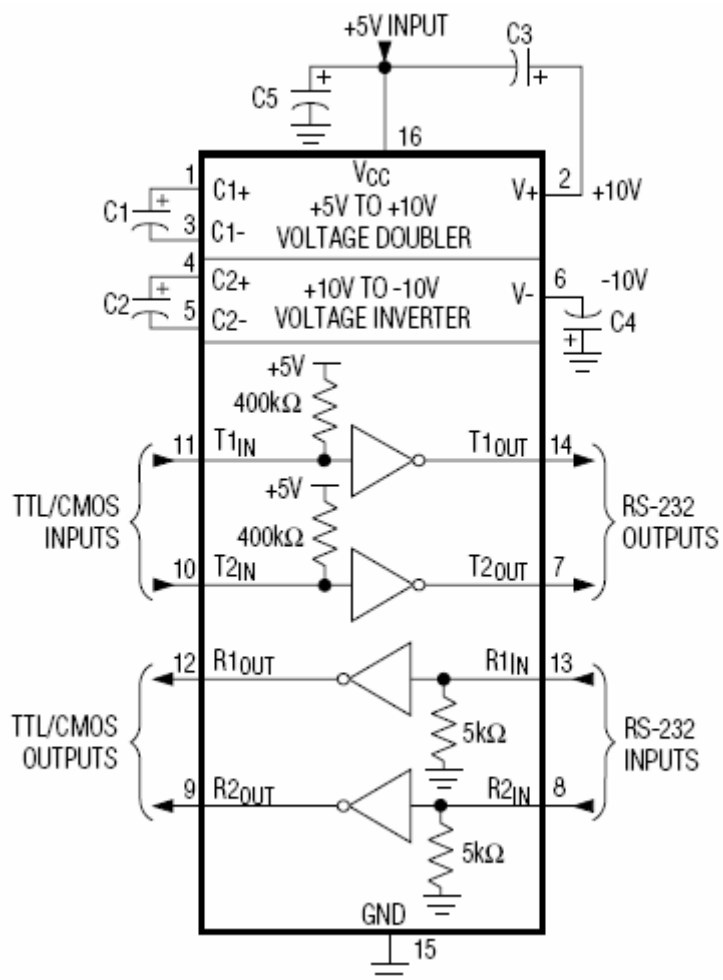


Figura B.2 – Montagem do circuito com RS232.

Fonte: MAXIM, 2007.

## ANEXO C – Componentes do medidor digital

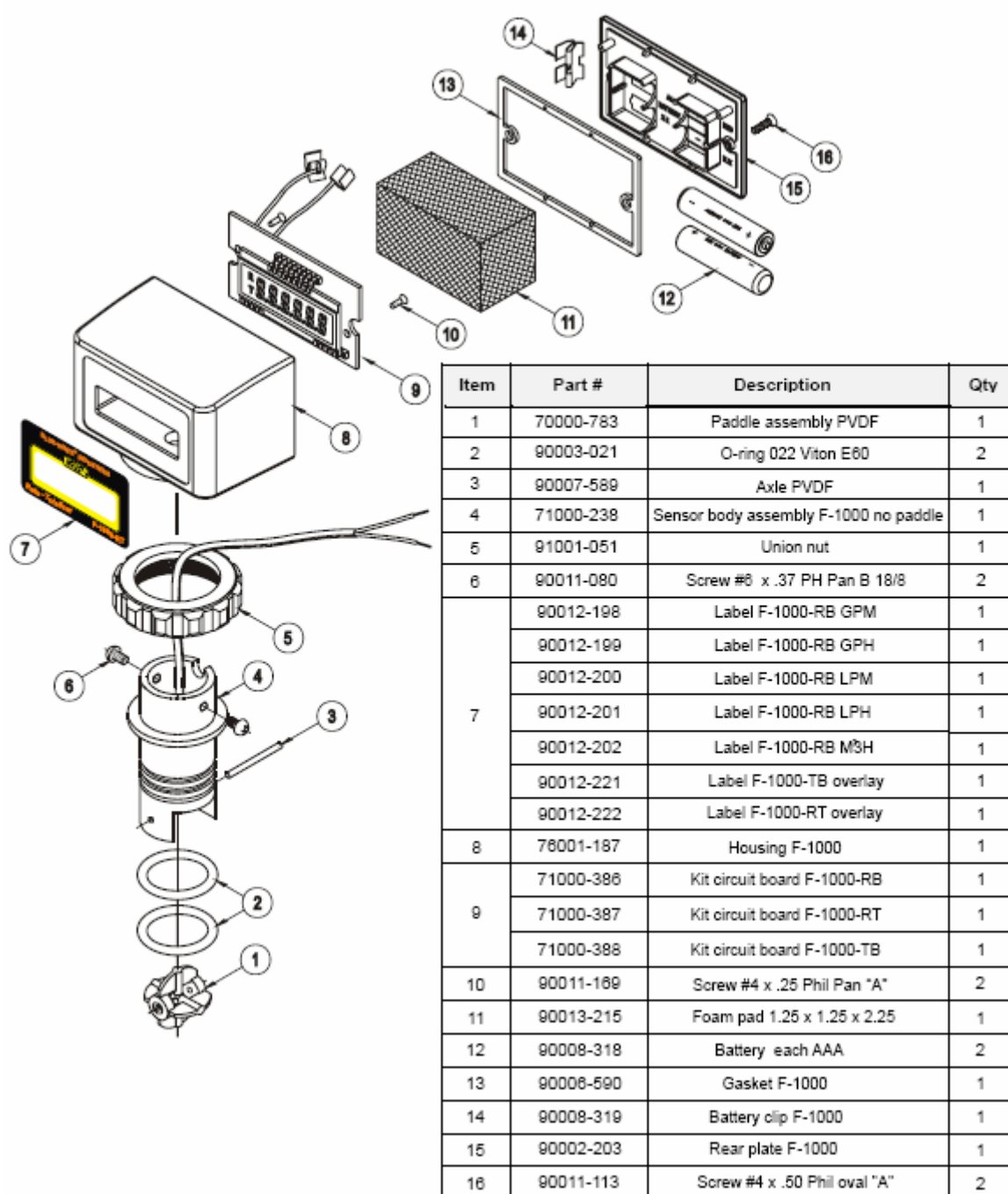


Figura C.1 – Esquema de montagem do medidor digital.

Fonte: PULSEINSTRUMENTS, 2007.

## ANEXO D – Folha de dados do medidor de vazão 2536 Rotor-x Flow Sensor

### +GF+ SIGNET 2536/3-8512-XX Sensor para Baixas Vazões

PORTUGUESE

411 8512-XX  
411 8512-XX  
411 8512-XX

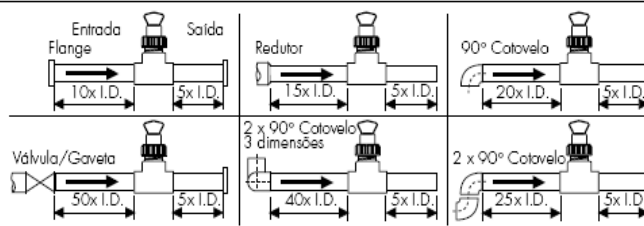


#### INFORMAÇÕES IMPORTANTES SOBRE SEGURANÇA

1. Nunca retire o sensor de vazão de uma tubulação pressurizada.
2. Nunca exceda a especificação máxima e mínima de temperatura/pressão.
3. Nunca faça instalações sem seguir o manual de instruções (veja o manual do sensor).
4. Use sempre óculos e máscaras de proteção durante a instalação/serviço.
5. Nunca modifique a construção do produto.
6. A falta no seguimento das informações de segurança pode resultar em sérios danos pessoais.

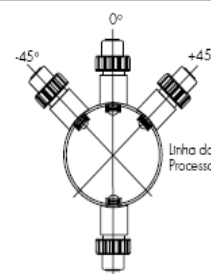
### 1. Posição do Acessório

Recomendações de trechos retos mínimos, a montante e a jusante do sensor.



### 2. Posição de Montagem do Sensor

- Posição horizontal: Monte o sensor na posição vertical (0°) para obter uma performance geral melhor. Montar o sensor a um ângulo de 45° quando notar a presença de bolhas. Não montar na base do tubo quando notar a presença de sedimentos no fluido.
- Posição vertical: O sensor deve ser montado apenas em linhas com fluxo de baixo para cima.



### 3. Instalação Elétrica do Sensor

Sensor 2536/3-8512XX

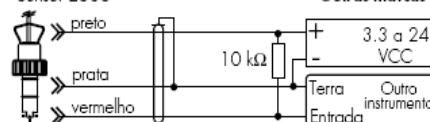
Instrumento +GF+ SIGNET



- Utilize cabo de 2 fios isolados para extensões de cabo até 300 m.
- Manter a blindagem na junção do cabo.
- Para conectar com +GF+ SIGNET Intelek-Pro use os parâmetros do cartão de entrada do 2535.
- Utilize seu manual do instrumento para detalhes específicos de ligação.

Sensor 2536

Outras marcas



- Necessita resistor (recomenda-se 10 kΩ).
- Utilize cabo de 2 fios isolados para extensões de cabo até 300 m.
- Manter a blindagem na junção do cabo.

### 4. Conexões +GF+ SIGNET

Tipo	Descrição
Tees plásticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nas versões de 1/2" a 4"</li> <li>• Instalação por colagem</li> <li>• PVC ou CPVC</li> </ul>
Conexão cunha em PVC, por colagem (dispensa anéis de vedação)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2" a 4", furo no tubo de 1-7/16"</li> <li>• 6" a 8", furo no tubo de 2-1/4"</li> <li>• Alinhe as setas do acento com as da cunha durante a montagem</li> <li>• Tubos acima de 8", utilize abraçadeira de ferro</li> </ul>
Abraçadeiras de ferro, montagem com alças de aperto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2" a 4", furo no tubo de 1-7/16"</li> <li>• Acima de 4", furo no tubo de 2-1/4"</li> <li>• Tubos acima de 12", pedido especial</li> </ul>
TAP soldado, em aço carbono	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2" a 4", furo no tubo de 1-7/16"</li> <li>• Acima de 4", furo no tubo de 2-1/4"</li> <li>• Retirar o inserto antes de soldar</li> <li>• Instalação somente por soldados habilitado</li> <li>• Tubos acima de 12", pedido especial</li> </ul>
Tees rosqueados, em aço carbono	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nas versões 1/2" a 2"</li> <li>• Montagem em finais de tubos com rosca</li> </ul>

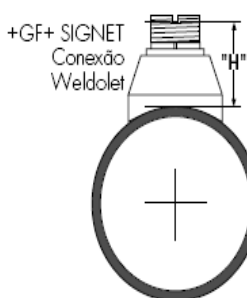
Tipo	Descrição
	<b>Cunha de plástico métrica</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para tubos DN 65 a 200 mm</li> <li>• Necessário um furo no tubo de 30mm de diâmetro</li> <li>• Alinhe as setas do acento com as da cunha</li> </ul>
	<b>Conexão métrica tipo Wafer</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para tubos DN 65 a 200 mm</li> <li>• Siga as instruções de montagem recomendadas</li> </ul>
	<b>Conexão união métrica</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para tubos DN 15 a 50 mm</li> <li>• Siga as instruções de montagem recomendadas</li> </ul>

Figura D.1 – Folha de Dados do Medidor 2536 Rotor-x Flow Sensor. Parte 1.

Fonte: Georg Fischer, 2004.

## 5. Dimensões H

O insert que está contido na conexão Weldolet DEVE ser retirado antes do processo de soldagem. Quando for reinstalada, é importante que esta peça seja rosqueada à altura apropriada (dimensão "H").



ENGLISH	ENGLISH	ENGLISH	ENGLISH
Weldolet código	Dimensão "H" milímetros	Weldolet código	Dimensão "H" milímetros
CS4W020	60.45	CS4W240	105.66
CS4W025	59.18	CS4W360	104.14
CS4W030	58.92		
CS4W040	58.42		
CS4W050	78.48	CR4W020	60.45
CS4W060	75.18	CR4W025	59.18
CS4W080	69.34	CR4W030	58.92
CS4W100	139.19	CR4W040	58.42
CS4W120	133.35	CR4W050	78.48
CS4W140	129.54	CR4W060	75.18
CS4W160	123.19	CS4W080	69.34
CS4W180	116.84	CR4W100	139.19
CS4W200	111.25	CR4W120	133.35

## 6. Instalação do Sensor Standard

1. Lubrificar os anéis de vedação do sensor com lubrificante de silicone (ex. Pasta de silicone GE n° G632 ou equivalente). Não usar lubrificante à base de petróleo, pois irão danificar os anéis de borracha.

2. Utilizando um movimento alternado/de torção, abaixe o sensor até a conexão, certificando-se de que a seta de direção esteja apontando para a direção do fluxo, veja Figura A.

3. Rosqueie parcialmente a capa do sensor, depois gire a sensor até que o ressalto de alinhamento esteja ajustado no entalhe de encaixe. **Aperte firme com as mãos a capa do sensor. Não utilize ferramenta na capa do sensor ou nas roscas da tampa e/ou do flange de adaptação, pois poderão ser danificados, veja Figura B.**

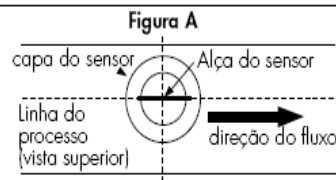
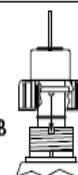


Figura B



## 7. Fatores-K

O **Fator-K** corresponde ao número de pulsos que são gerados pelo sensor para cada unidade de volume medida de fluido que passa. São apresentados para galão americano e em litros. Por exemplo num tubo de 1 polegada, o rotor gera 352.435 pulsos por galão de fluido que passa pelo rotor. Os Fatores-K são listados para tubos até 12 polegadas. Para tubos acima de 12 polegadas, consulte o seu distribuidor +GF+ SIGNET.

Tubo Btola	Acessório +GF+ Signet Tipo	---Fator-k---	
		Galão EUA	Litros
<b>T em PVC SCH 80 para Tubo em PVC SCH 80</b>			
1/2 Pol.	PV8T005	991.706	262.010
3/4 Pol.	PV8T007	545.142	144.027
1 Pol.	PV8T010	352.435	93.114
1 1/4 Pol.	PV8T012	177.184	46.812
1 1/2 Pol.	PV8T015	117.852	31.137
2 Pol.	PV8T020	66.739	17.633
2 1/2 Pol.	PV8T025	42.994	11.359
3 Pol.	PV8T030	26.652	7.041
4 Pol.	PV8T040	15.006	3.964
<b>T em CPVC SCH 80 para Tubo em CPVC SCH 80</b>			
1/2 Pol.	CPV8T005	991.706	262.010
3/4 Pol.	CPV8T007	545.142	144.027
1 Pol.	CPV8T010	352.435	93.114
1 1/4 Pol.	CPV8T012	177.184	46.812
1 1/2 Pol.	CPV8T015	117.852	31.137
<b>Cunha em PVC SCH 80 para Tubo em PVC SCH 80</b>			
2 Pol.	PV8S020	66.739	17.633
2 1/2 Pol.	PV8S025	42.994	11.359
3 Pol.	PV8S030	26.652	7.041
4 Pol.	PV8S040	15.006	3.964
6 Pol.	PV8S060	8.325	2.199
8 Pol.	PV8S080	5.016	1.325
<b>Cunha em PVC SCH 80 para Tubo em PVC SCH 40</b>			
2 Pol.	PV8S020	54.700	14.452
2 1/2 Pol.	PV8S025	37.159	9.817
3 Pol.	PV8S030	23.697	6.261
4 Pol.	PV8S040	13.456	3.555
6 Pol.	PV8S060	7.459	1.971
8 Pol.	PV8S080	4.529	1.197
<b>T em Aço Carbono para Tubo SCH 40</b>			
1/2 Pol.	CS4T005	756.000	199.736
3/4 Pol.	CS4T007	438.690	115.902
1 Pol.	CS4T010	286.784	75.768
1 1/4 Pol.	CS4T012	121.218	32.026
1 1/2 Pol.	CS4T015	91.139	24.079
2 Pol.	CS4T020	54.468	14.391
<b>T em Aço Inox para Tubo SCH 40</b>			
1/2 Pol.	CR4T005	734.200	193.976
3/4 Pol.	CR4T007	412.100	108.877
1 Pol.	CR4T010	252.700	66.764
1 1/4 Pol.	CR4T012	128.120	33.849
1 1/2 Pol.	CR4T015	77.320	20.428
2 Pol.	CR4T020	45.790	12.095
<b>T em Ferro Galvanizado sobre Tubo SCH 40</b>			
1 Pol.	IR4T010	213.009	56.277
1 1/4 Pol.	IR4T012	127.746	33.751
1 1/2 Pol.	IR4T015	94.401	24.941
2 Pol.	IR4T020	59.420	15.699
<b>Weldolets em Aço Carbono sobre Tubo SCH 40</b>			
2 1/2 Pol.	CS4W025	37.600	9.934
3 Pol.	CS4W030	24.340	6.431
4 Pol.	CS4W040	13.920	3.678
5 Pol.	CS4W050	10.860	2.869
6 Pol.	CS4W060	7.520	1.987
8 Pol.	CS4W080	4.340	1.147
10 Pol.	CS4W100	2.760	0.729
12 Pol.	CS4W120	1.940	0.513
<b>Weldolets em Aço Inox sobre Tubo SCH 40</b>			
2 1/2 Pol.	CR4W025	37.600	9.934
3 Pol.	CR4W030	24.340	6.431
4 Pol.	CR4W040	13.920	3.678
5 Pol.	CR4W050	10.860	2.869
6 Pol.	CR4W060	7.520	1.987
8 Pol.	CR4W080	4.340	1.147
10 Pol.	CR4W100	2.760	0.729
12 Pol.	CR4W120	1.940	0.513
<b>Abraçadeiras em Ferro SCH 80 sobre Tubo SCH 80</b>			
2 Pol.	IR8S020	64.720	17.099
2 1/2 Pol.	IR8S025	42.480	11.223
3 Pol.	IR8S030	26.420	6.980
4 Pol.	IR8S040	14.700	3.884
5 Pol.	IR8S050	12.180	3.218
6 Pol.	IR8S060	8.440	2.230
8 Pol.	IR8S080	4.900	1.295
10 Pol.	IR8S100	3.060	0.808
12 Pol.	IR8S120	2.160	0.571
<b>Abraçadeiras em Ferro SCH 80 sobre Tubo SCH 40</b>			
2 Pol.	IR8S020	53.640	14.172
2 1/2 Pol.	IR8S025	37.600	9.934
3 Pol.	IR8S030	23.220	6.135
4 Pol.	IR8S040	13.260	3.503
5 Pol.	IR8S050	11.040	2.917
6 Pol.	IR8S060	7.240	1.913
8 Pol.	IR8S080	4.400	1.162
10 Pol.	IR8S100	2.800	0.740
12 Pol.	IR8S120	1.980	0.523
<b>Brazolets em Cobre/Bronze sobre Tubo SCH 40</b>			
2 1/2 Pol.	BR4B025	37.600	9.934
3 Pol.	BR4B030	24.340	6.431
4 Pol.	BR4B040	13.920	3.678
5 Pol.	BR4B050	10.860	2.869
6 Pol.	BR4B060	7.520	1.987
8 Pol.	BR4B080	4.340	1.147
10 Pol.	BR4B100	2.760	0.729
12 Pol.	BR4B120	1.940	0.513
<b>T em Bronze sobre Tubo SCH 40</b>			
1 Pol.	BR4T010	213.009	56.277
1 1/4 Pol.	BR4T012	127.746	33.751
1 1/2 Pol.	BR4T015	94.401	24.941
2 Pol.	BR4T020	59.420	15.699
<b>Tubo em Cobre com Acessórios em Cobre</b>			
1/2 Pol. SK K	CUKT005	617.844	242.495
1/2 Pol. SK L		858.217	226.742
3/4 Pol. SK K	CUKT007	428.270	113.149
3/4 Pol. SK L		385.737	101.912
1 Pol. SK K	CUKT010	256.430	67.749
1 Pol. SK L		241.639	63.841
1 1/4 Pol. SK K	CUKT012	176.437	46.615
1 1/4 Pol. SK L		170.902	45.152
1 1/2 Pol. SK K	CUKT015	115.690	30.565
1 1/2 Pol. SK L		112.030	29.598
2 Pol. SK K	CUKT020	63.385	16.746
2 Pol. SK L		61.735	16.310

### Fórmula de Conversão:

1 Galão Americano = 0.003785 metros cúbicos

Figura D.2 – Folha de Dados do Medidor 2536 Rotor-x Flow Sensor. Parte 2.

Fonte: Georg Fischer, 2004.

## 10. Especificações

### Características

Faixa de vazão: 0.1 até 6 m/s  
 Linearidade:  $\pm 1\%$  do fundo da escala  
 Repetibilidade:  $\pm 0.5\%$  do fundo da escala

### Faixa de aplicação:

- Sensor 2536: 15 até 900 mm
- Sensor 3-8512-XX: 15 até 200 mm

Comprimento do Cabo (2536): 7.6 m podendo ser alongado para 300 m, com uma extensão

Tipo do Cabo: 2-condutores par - torcido com blindagem (Belden 8451)

### Materiais

Corpo do Sensor: Disponível em vários termoplásticos. Veja seção 8 para maiores detalhes.

### Elétrico

Voltagem: 3.3 até 24 VCC regulado

Corrente:  $< 1.5 \text{ mA}$  @ 3.3 - 6 VCC

Tipo de saída:  $< 20 \text{ mA}$  @ 6 - 24 VCC

transistor coletor aberto, receptor

Corrente de saída: 10 mA máx.

### Condições do Fluido

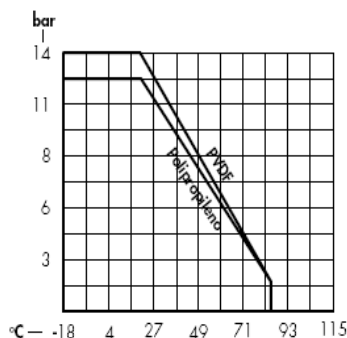
Limites de pressão/temperatura

Corpo de Polipropileno:

- 12.5 bar máx. @ 20 °C
- 1.7 bar máx. @ 85 °C

Corpo de PVDF:

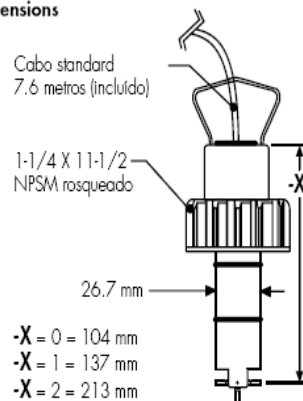
- 14 bar máx @ 20 °C
- 1.7 bar máx @ 85 °C



### Padrões de Qualidade

- CE
- Produzido sob ISO 9001

### 2536 Dimensions



O último dígito (X) no número da peça do sensor representa o comprimento geral do sensor.

## +GF+ SIGNET

### Sales Offices:

**USA** George Fischer, Inc., 2882 Dow Avenue, Tustin, CA 92780/USA, Tel. (714) 731-8800, Fax (714) 731-6201  
**Switzerland** Georg Fischer Rohrleitungssysteme AG, P.O. Box 671, CH-8201 Schaffhausen/Switzerland, Tel. 052/631 1111, Fax 052/631 2830  
**Singapore** George Fischer Pte. Ltd., 15 Kaki Bukit Road 2, KB Warehouse Complex, Singapore 1441, Tel. 65/747 0611, Fax 65/747 0577  
**Japan** Kubota George Fischer, 2-47 Shikitsuhigashi, 1-Chome, Naniwa-Ku, Osaka, 556-91 Japan, Tel. 816/648 2545, Fax 816/648 2565  
**China** Georg Fischer Ltd., Rm 1503, Business Residence Bldg. of Asia Plaza, 2-3 Bldg. No. 5th Qu Anzhexili, Chaoyang Qu, Beijing 100029, P.R. China, Tel. 86/10 6443 0577, Fax 86/10 6443 0578  
**Australia** George Fischer Pty. Ltd., Suite 3, 41 Stamford Road, Oakleigh, Victoria 3166, Australia, Tel. 61/3 9568 0966, Fax 61/3 9568 0988

Signet Scientific Company, 3401 Aerojet Avenue, El Monte, CA 91731-2882 U.S.A., Tel. (626) 571-2770, Fax (626) 573-2057

GEORGE FISCHER +GF+ Piping Systems  
 3-2536.090-1/(B-4/98), Portuguese

© Signet Scientific Company 1996



PRINTED ON RECYCLED PAPER

Printed in U.S.A.

Figura D.3 – Folha de Dados do Medidor 2536 Rotor-x Flow Sensor. Parte 3.

Fonte: Georg Fischer, 2004.

## APÊNDICE E – Fotos do Protótipo montado

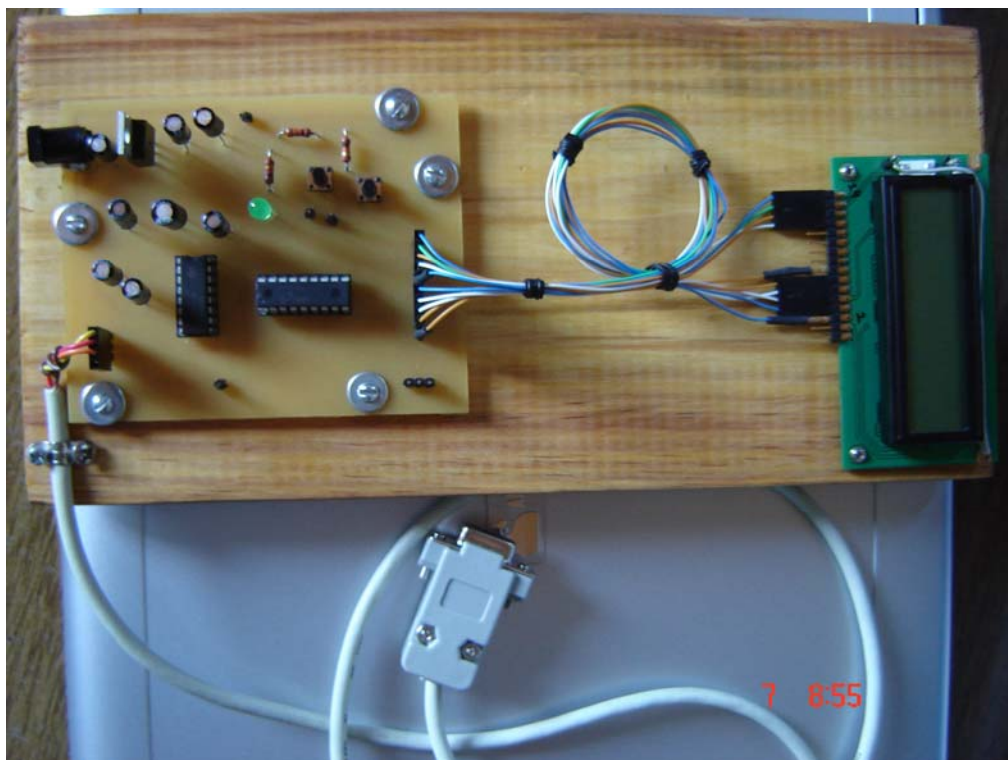


Figura E.1 – Montagem Final do Circuito.



Figura E.2 – Visão Lateral do Circuito.



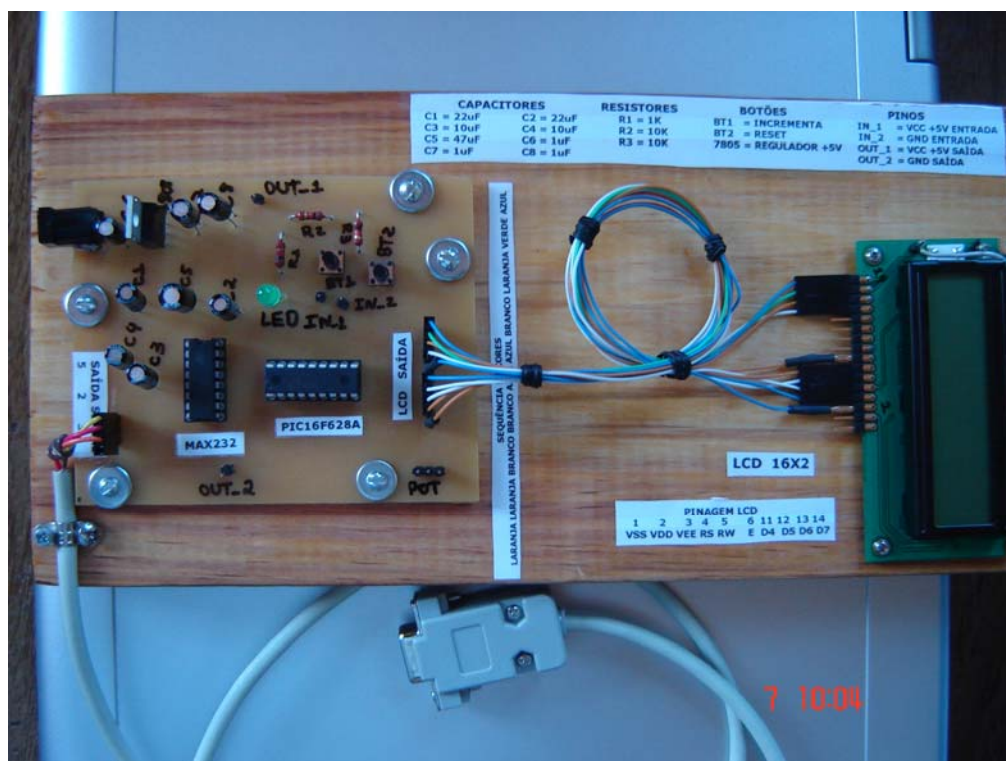


Figura E.3 – Visão Geral do Protótipo.

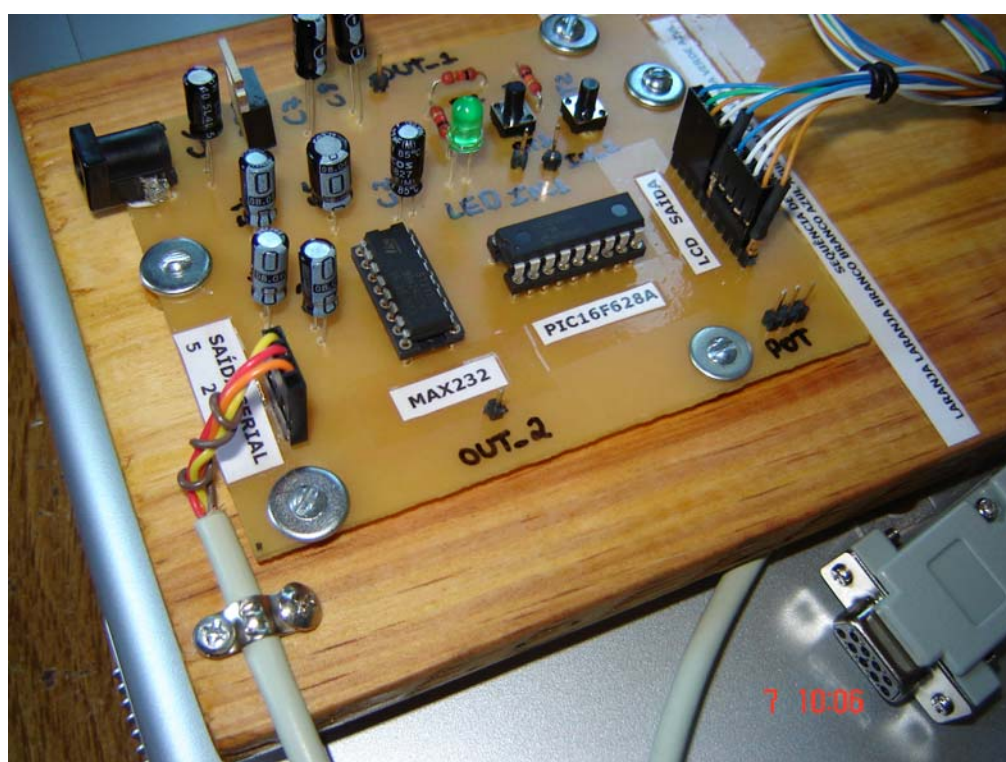


Figura E.4 – Visão Lateral do Protótipo com os nomes Componentes.

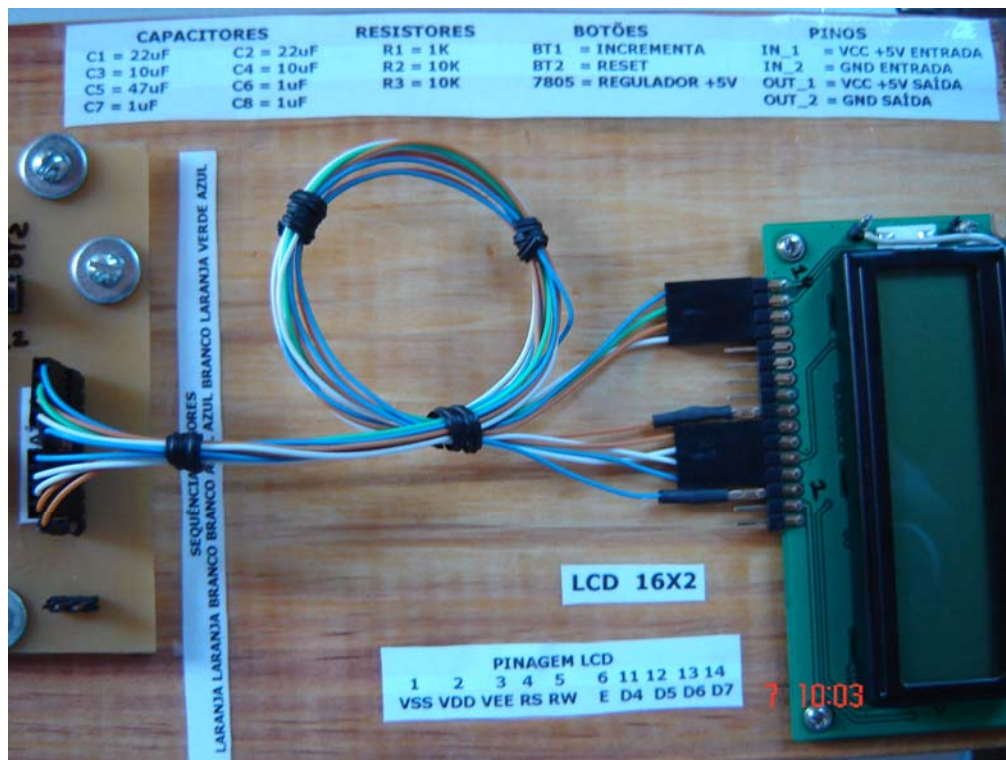


Figura E.5 – Legenda dos Componentes do Protótipo.



Figura E.6 – Protótipo em funcionamento: Medidor parado e zerado.



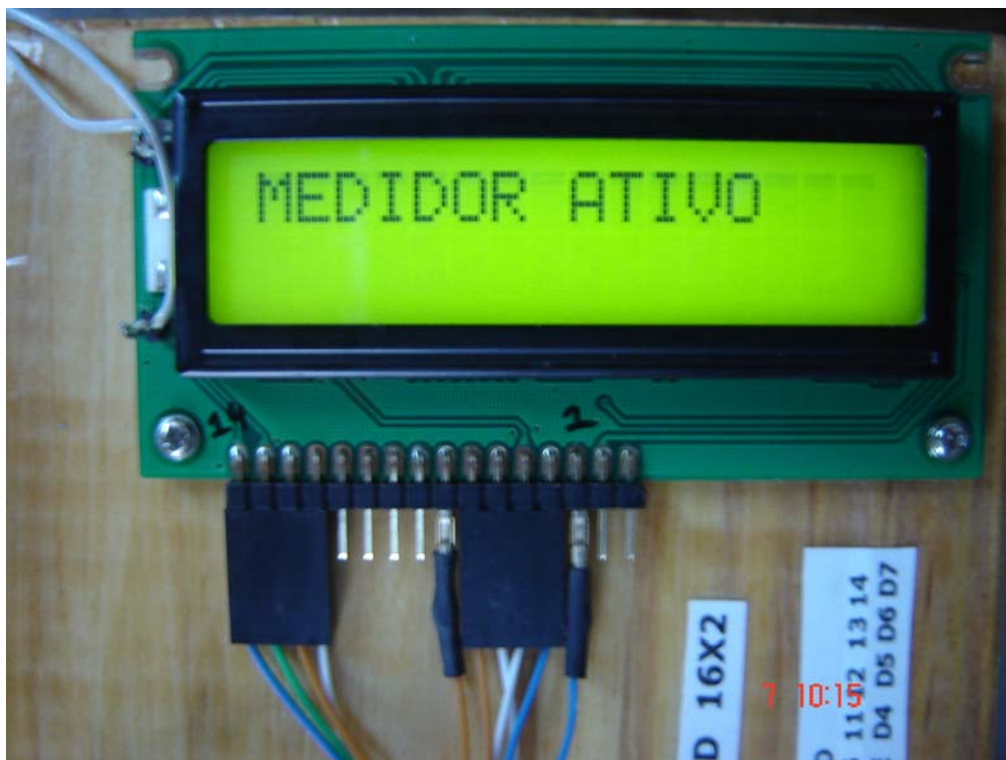


Figura E.7 – Protótipo em Funcionamento: Medidor contando os pulsos.



Figura E.8 – Protótipo em Funcionamento: Medidor parado com 3956 pulsos.

## APÊNDICE F – Código fonte do pic

```

/*****
* Definição do PIC utilizado *
*****/

#include <16f628a.h>

/*****
* Configurações para gravação *
*****/

#fuses INTRC_IO, NOWDT, NOPUT, NOBROWNOUT, NOMCLR, NOLVP,
NOPROTECT
#ROM 0x07ff = {0} //Calibragem do oscilador interno

/*****
* Definição para uso de Rotinas de Delay *
*****/

#use delay(clock=4000000)
#use rs232(baud=9600, xmit=PIN_A3, rcv=PIN_A2)
//rs232 = Diretiva utilizada para a comunicação serial.

/*****
* Constantes internas *
*****/

// Estas são as definições dos pinos que o LCD utiliza.
// Define quais pinos do PIC controlarão os pinos do LCD.
#define lcd_enable pin_b1      // pino enable do LCD
#define lcd_rs pin_b2          // pino rs do LCD
#define lcd_db4 pin_b4          // pino de dados d4 do LCD
#define lcd_db5 pin_b5          // pino de dados d5 do LCD
#define lcd_db6 pin_b6          // pino de dados d6 do LCD
#define lcd_db7 pin_b7          // pino de dados d7 do LCD

```

```
/* **** */
```

```
* Definição e inicialização das portas*
```

```
**** */
```

```
#use fast_io(a)
```

```
#use fast_io(b)
```

```
#byte porta = 0x05
```

```
#byte portb = 0x06
```

```
/* **** */
```

```
* Declaração das variáveis utilizadas*
```

```
**** */
```

```
short entrada;
```

```
short reset;
```

```
int cont0;
```

```
int cont1;
```

```
int cont2;
```

```
int dez;
```

```
int und;
```

```
int cen;
```

```
int um;
```

```
byte adress1,adress2,adress3,adress4;
```

```
/* **** */
```

```
/* Rotinas para o LCD retirado do
```

```
Tutorial LCD em 4 vias do autor Eduardo Souza Ramos, 2005.*/
```

```
/* **** */
```

```
/* **** */
```

```
* Este é o bloco com as rotinas necessárias para manipular o LCD *
```

```
**** */
```

```

/* *****
* Envio de "Nibble" para o LCD *
***** */

//Esta rotina lê o "Nibble" inferior de uma variável e envia para o LCD.
//Carrega as vias de dados (pinos) do LCD de acordo com o nibble lido
void envia_nibble_lcd(int dado)
{
    output_bit(lcd_db4, bit_test(dado,0)); //Carrega DB4 do LCD com o bit
    DADO<0>
    output_bit(lcd_db5, bit_test(dado,1)); //Carrega DB5 do LCD com o bit
    DADO<1>
    output_bit(lcd_db6, bit_test(dado,2)); //Carrega DB6 do LCD com o bit
    DADO<2>
    output_bit(lcd_db7, bit_test(dado,3)); //Carrega DB7 do LCD com o bit
    DADO<3>
    //Gera um pulso de enable.
    output_high(lcd_enable);          // ENABLE = 1
    delay_us(1);                      // Recomendado para estabilizar o LCD
    output_low(lcd_enable);           // ENABLE = 0
    return;                           // Retorna ao ponto de chamada da função
}

/* *****
* Envio de Byte para o LCD *
***** */

//Esta rotina irá enviar um dado ou um comando para o LCD conforme abaixo:
// ENDEREÇO = 0 -> a variável DADO será uma instrução
// ENDEREÇO = 1 -> a variável DADO será um caractere
void envia_byte_lcd(boolean endereco, int dado)
{
    output_bit(lcd_rs,endereco); // Seta o bit RS para instrução ou caractere
    delay_us(100);              // Aguarda 100 us para estabilizar o pino do LCD
    output_low(lcd_enable);      // Desativa a linha ENABLE
    envia_nibble_lcd(dado>>4);   // Envia a parte ALTA do dado/comando
    envia_nibble_lcd(dado & 0x0f); // Limpa a parte ALTA e envia a parte BAIXA do
    // dado/comando

```

```

delay_us(40);           // Aguarda 40us para estabilizar o LCD
return;                 // Retorna ao ponto de chamada da função
}

```

```

/* * * * * *

```

```

* Envio de caractere para o LCD *

```

```

* * * * *

```

```

// Esta rotina serve apenas como uma forma mais fácil de escrever um
// caractere no display. Ela pode ser eliminada e ao invés dela usaremos
// diretamente a função envia_byte_lcd(1,"<caractere a ser mostrado no LCD>")
//; ou envia_byte_lcd(1,<código do caractere a ser mostrado no LCD>);
// envia caractere para o display

```

```

void escreve_lcd(char c)

```

```

{
envia_byte_lcd(1,c);
}

```

```

/* * * * * *

```

```

* Função para limpar o LCD *

```

```

* * * * *

```

```

// Como esta operação pode ser muito utilizada, transformando-a em função
// faz com que o código compilado seja menor.

```

```

void limpa_lcd()

```

```

{
envia_byte_lcd(0,0x01); // Envia instrução para limpar o LCD
delay_ms(2); // Aguarda 2ms para estabilizar o LCD
return; // Retorna ao ponto de chamada da função
}

```

```

/* * * * * *

```

```

* Inicializa o LCD *

```

```

* * * * *

```

```

void inicializa_lcd()

```

```

{
output_low(lcd_db4); // Garante que o pino DB4 está em 0 (low)
output_low(lcd_db5); // Garante que o pino DB5 está em 0 (low)

```

```

output_low(lcd_db6);           // Garante que o pino DB6 está em 0 (low)
output_low(lcd_db7);           // Garante que o pino DB7 está em 0 (low)
output_low(lcd_rs);            // Garante que o pino RS está em 0 (low)
output_low(lcd_enable);        // Garante que o pino ENABLE está em 0 (low)
delay_ms(15);                  // Aguarda 15ms para estabilizar o LCD
envia_nibble_lcd(0x03);        // Envia comando para inicializar o display
delay_ms(5);                   // Aguarda 5ms para estabilizar o LCD
envia_nibble_lcd(0x03);        // Envia comando para inicializar o display
delay_ms(5);                   // Aguarda 5ms para estabilizar o LCD
envia_nibble_lcd(0x03);        // Envia comando para inicializar o display
delay_ms(5);                   // Aguarda 5ms para estabilizar o LCD
envia_nibble_lcd(0x02);        // CURSOR HOME - Envia comando para zerar
o contador de caracteres e retornar à posição inicial (0x80).
delay_ms(1);                   // Aguarda 1ms para estabilizar o LCD
envia_byte_lcd(0,0x28);        // FUNCTION SET - Configura o LCD para 4
bits, 2 linhas, fonte 5X7.
envia_byte_lcd(0,0x0c);        // DISPLAY CONTROL - Display ligado, sem cursor
limpa_lcd();                   // Limpa o LCD
envia_byte_lcd(0,0x06);        // ENTRY MODE SET - Desloca o cursor para a direita
return;                        // Retorna ao ponto de chamada da função
}

```

```

/*****/

```

```

/* Final das rotinas para o LCD */

```

```

/*****/

```

```

/* * * * * *

```

```

* Configurações do PIC *

```

```

* Programa principal *

```

```

* * * * *

```

```

main()

```

```

{

```

```

/* * * * * *

```

```

* Definição do contador unitário *

```

```

* * * * *

```



//Esta rotina é um modo de enviar um número em decimal para o LCD.  
 //A unidade (und) é incrementada de 0 até 9 e depois é zerada, após isso  
 //a dezena (dez) é incrementada de 0 até 9 e também é zerada, após isso  
 //a centena é incrementada. É feito isso até a unidade de milhar (um).

**cont0 = (0b00110000);**   //Transforma '0' em decimal para '0' em hexa '30H'.  
**cont1 = (0b00111001);**   //Transforma '9' em decimal para '9' em hexa '3aH'.

//Na hora que o PIC inicia, se estiver '0' em um dos contadores  
 //(um,cen,dez,und) o LCD interpreta esse zero como um caractere acima do  
 //'9' e com isso é feito um tratamento dizendo se estiver um valor igual  
 //a ' : ' em um dos contadores, o seu valor é zerado (cont0).

**cont2 = (0b00111010);**   //Coloca '0' em um valor ' : '.

/\* \*\*\*\* \*/

/\* Definição do endereço de memória\*

\*\*\*\* \*/

//É definido o valor de 1 à 4 para o endereço de memória.

**adress1 = 1;**

**adress2 = 2;**

**adress3 = 3;**

**adress4 = 4;**

**und = read\_eeprom(adress1);**

**dez = read\_eeprom(adress2);**

**cen = read\_eeprom(adress3);**

**um = read\_eeprom(adress4);**

//Testa se o endereço de memória está vazio ('0XFF'), se estiver

//o valor referente ao contador recebe '0'.

**if (und == 0XFF)**

**und = cont0;**

**if (dez == 0XFF)**

**dez = cont0;**

```

if (cen == 0XFF)
    cen = cont0;
if (um == 0XFF)
    um=cont0;

```

//Testa se tem o caractere ':' nos contadores, caso sim seu valor é zerado.

```

if (und == cont2)
    und = cont0;
if (dez == cont2)
    dez = cont0;
if (cen == cont2)
    cen = cont0;
if (um == cont2)
    um=cont0;

```

//inicia a escrita no LCD e a leitura dos pinos de entrada.

```

do {
inicializa_lcd();           //rotina que inicializa o LCD.
porta = 0;
portb = 0;

```

//Configuração da direção dos pinos de I/O, RA0 e RA1 como entrada,  
//os demais pinos configurados como saída.

```

set_tris_a(0b00000011);    //RA0,RA1 = Entrada.
set_tris_b(0b00000000);

```

//Criação de uma variável global configurado como entrada (RA0 e RA1).

```

entrada = input(pin_a1);
reset = input(pin_a0);

```

//Condição para saber se o botão de reset está apertado.

//Se estiver, os contadores são zerados.

```

if (reset)
{
    und = cont0;
    write_eeprom(adress1,und);

```

```

    dez = cont0;
    write_eeprom(adress2,dez);
    cen = cont0;
    write_eeprom(adress3,cen);
    um=cont0;
    write_eeprom(adress4,um);
}

```

//Condição para saber se o botão de entrada está apertado.

//Se estiver, os contadores são incrementados.

if (entrada)

```

{
    printf("\n\r%c%c%c%c",um,cen,dez,und); //Envia os valores para serial
    escreve_lcd("MEDIDOR ATIVO");          //Envia caractere para o LCD.

    und+=1;                                //incrementa o contador.
    write_eeprom(adress1,und);              //Grava o valor do contador na memória.
}

```

//O bloco de IF abaixo incrementa os contadores testando seus valores até 9

//Se verdadeiro, seus respectivos contadores são zerados e o próximo.

//incrementado. Isto é feito ate 9999.

if (und > cont1)

```

{
    und=0;
    und=cont0;

    dez+=1;
    write_eeprom(adress2,dez);              //Grava na memória.

}

```

if (dez > cont1)

```

{
    dez=0;
    dez=cont0;

    cen+=1;
}

```

```

        write_eeprom(adress3,cen);
    }

    if (cen > cont1)
    {
        cen+=0;
        cen=cont0;

        um+=1;
        write_eeprom(adress4,um);
    }
}

```

//Este bloco só é executado se o botão de entrada não for pressionado.

//Mostra os valores dos contadores no módulo LCD.

```

    else
    {
        escreve_lcd("PARADO = ");
        escreve_lcd(um);
        escreve_lcd(cen);
        escreve_lcd(dez);
        escreve_lcd(und);
        delay_ms(500);           //Tempo de espera para o LCD.
    }

}

```

//O código é executado infinitamente até que a alimentação do pic

//esteja ativa.

```
while (true);
```

```
}
```

//Fim.

## APÊNDICE G – Código fonte do Matlab

### CÓDIGO MENU PRINCIPAL

---

```
%=====
% Iniciando as variáveis
%=====

zero = 0;
t = now;
h_atual = hour(t);
d_atual = datestr(t,7);
xlswrite('amostras.xls', 1, 'pulsos');
pulsos = xlsread('amostras.xls', 'pulsos');
s_pulso = sum(pulsos);
dias_ocorridos = length(pulsos);
horasis = datestr(t);
t = now;

%=====
% Caixa de diálogos
%=====

set(handles.data, 'String', horasis);
set(handles.dia_atual, 'String', d_atual);
set(handles.hora_atual, 'String', h_atual);
set(handles.posicao_pulso, 'String', dias_ocorridos);
set(handles.l_amostra_p, 'String', zero);
set(handles.c_amostra_l, 'String', zero);
set(handles.posicao, 'String', 'AX');
set(handles.soma_pulso, 'String', s_pulso);
set(handles.soma_litro, 'String', zero);

dialogo = 'aguardando';
set(handles.cx_dial1, 'String', dialogo);
set(handles.cx_dial2, 'String', dialogo);
guidata(hObject, handles);
```

```

%=====
% Função que cria uma conexão
%=====

function conectar_Callback(hObject, eventdata, handles)
global S;
S = serial('COM2');
avisol = 'Conectado';
set(handles.cx_dial1, 'String', avisol);

%=====
% Função que abre uma conexão
%=====
function abrir_conexao_Callback(hObject, eventdata, handles)
global S;
fopen(S);
aviso2 = 'Con. Aberta';
set(handles.cx_dial1, 'String', aviso2);

%=====
% Função que fecha uma conexão
%=====

function fechar_conexao_Callback(hObject, eventdata, handles)
global S;
fclose(S);
aviso3 = 'Con. Fechada';
set(handles.cx_dial1, 'String', aviso3);

%=====
% Função que faz a leitura da amostra
%=====

function ler_amostra_Callback(hObject, eventdata, handles)
global S;
global amostra;
amostra = fscanf(S, '%d');
set(handles.l_amostra_p, 'String', amostra);

aux = amostra/93.114;
set(handles.c_amostra_l, 'String', aux);
aviso4 = 'Leitura Feita';
set(handles.cx_dial2, 'String', aviso4);

```

```

%=====
% Função que salva a amostra
%=====

function salvar_amostra_Callback(hObject, eventdata, handles)
global S;
global amostra;
global r_posicao;
global h_atual;

x = xlswrite('amostras.xls', amostra, 'pulsos', r_posicao);
y = xlswrite('hora.xls', h_atual, 'hora', r_posicao);
amostra;
h_atual;
r_posicao;

aviso5 = 'Salvo'; %
set(handles.cx_dial2, 'String', aviso5);
pulsos = xlsread('amostras.xls', 'pulsos');
dias_ocorridos = length(pulsos);
set(handles.posicao_pulso, 'String', dias_ocorridos);

%=====
% Função que exibe o total de pulsos lidos e sua conversao para litros
%=====

function sit_atual_Callback(hObject, eventdata, handles)
pulsos = xlsread('amostras.xls', 'pulsos');
s_pulso = sum(pulsos);
s_litro = s_pulso/93.114;

set(handles.soma_pulso, 'String', s_pulso);
set(handles.soma_litro, 'String', s_litro);

%=====
% Função que exibe os valores coletados no gráfico
%=====
function grafico_atual_Callback(hObject, eventdata, handles)
g_pulsos = xlsread('amostras.xls', 'pulsos');
g_hora = xlsread('hora.xls', 'hora');

bar(g_hora, g_pulsos, 'r');

function posicao_Callback(hObject, eventdata, handles)
global r_posicao;
r_posicao = get(hObject, 'String');

```

```

%=====
% Função que zera os valores da porta serial
%=====

function zerar_amostra_Callback(hObject, eventdata, handles)
global S;
g = 0;
x = S.BytesAvailable;
y = x/6;
for g = 1:y
fscanf(S);
end

aviso6 = 'Zerado'; % Cria uma mensagem.
set(handles.cx_dial2, 'String', aviso6); % Imprime a mensagem na caixa de
dialogo.

%=====
% Função do Modo Automático
%=====

function automatico_Callback(hObject, eventdata, handles)
global coluna;
global fim_automatico;
global hora_p;
global S;
global amostra;
global r_posicao;

fim_automatico = 0;
coluna = 1;
hora_p = 0;

for fim_automatico = 1:8

%salvando as amostras na coluna A
A = 'A1';
B = 'A2';
C = 'A3';
D = 'A4';
E = 'A5';
F = 'A6';
G = 'A7';
H = 'A8';
I = 'A9';
J = 'A10';

```



```

amostra = fscanf(S);
set(handles.l_amostra_p, 'String', amostra);

pause(1); % Faz uma pausa na leitura

aux = amostra/93.114;
set(handles.c_amostra_l, 'String', aux);
aviso4 = 'Leitura Feita';
set(handles.cx_dial2, 'String', aviso4);

g = 0;
x = S.BytesAvailable;
y = x/6;
for g = 1:y
    fscanf(S);
end

pause(1);

aviso6 = 'Zerado';
set(handles.cx_dial2, 'String', aviso6);

amostra = fscanf(S);
amostra = fscanf(S,'%d');
set(handles.l_amostra_p, 'String', amostra);

%condicao para os pulsos:
if (coluna == 1)
    r_posicao = A;
elseif (coluna == 2)
    r_posicao = B;
elseif (coluna == 3)
    r_posicao = C;
elseif (coluna == 4)
    r_posicao = D;
elseif (coluna == 5)
    r_posicao = E;
elseif (coluna == 6)
    r_posicao = F;
elseif (coluna == 7)
    r_posicao = G;
elseif (coluna == 8)
    r_posicao = H;

```

```

elseif (coluna == 0)
    r_posicao = I;
else (coluna == 10)
    r_posicao = J;
end

hora_p = hora_p + 2;
x = xlswrite('amostras.xls', amostra, 'pulsos', r_posicao);
y = xlswrite('hora.xls', hora_p, 'hora', r_posicao);

aviso5 = 'Salvo';
set(handles.cx_dial2, 'String', aviso5);

pulsos = xlsread('amostras.xls', 'pulsos');
dias_ocorridos = length(pulsos);
fim_automatico = dias_ocorridos;

set(handles.posicao_pulso, 'String', dias_ocorridos);
coluna = coluna + 1;

aviso7 = 'Zerar Contador';
set(handles.cx_dial2, 'String', aviso7);
pause (3)
aviso8 = 'Somando Pulsos';
set(handles.cx_dial2, 'String', aviso8);

pause(10);

end

```

### CODIGO DO MENU DE ANALISE DOS DADOS SALVOS

---

```

%=====
% Função que faz os calculos dos valores armazenados no arquivo Excel
%=====

function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
global dia; %variavel global para o dia escolhido
global fator;

pulsos = xlsread('amostras.xls', dia); %le o dia baseado no dia escolhido
hora = xlsread('hora.xls', 'hora');
amostras = length(pulsos);
fator

```

```

s_pulso = sum(pulsos);
s_litro = s_pulso/fator;
gastar = 750 - s_litro;
reais = s_litro;
if reais <= 750
    x = 'faixa 1';
else
    x = 'faixa 2';
end

percent = (s_litro/750) * 100;
percent1 = percent - 100;

set(handles.p_acumulado, 'String', s_pulso);
set(handles.l_acumulado, 'String', s_litro);
set(handles.l_gasto, 'String', s_litro);
set(handles.gastar, 'String', gastar);
set(handles.valor, 'String', x);
set(handles.percent, 'String', percent1);
set(handles.amostras, 'String', amostras);

%=====
% Função que faz a leitura do campo dia
%=====

function dia_Callback(hObject, eventdata, handles)
global dia;
dia = get(hObject,'String');

%=====
% Função seta o valor do Fator K
%=====
function set_fator_Callback(hObject, eventdata, handles)
global fator;
fator = str2double(get(hObject,'String'));


```

**CÓDIGO GRAFICO DIARIO**

---

```

%=====
% Função que mostra o gráfico dos litros acima da média
%=====

function g_dia_Callback(hObject, eventdata, handles)

g_dia = xlsread('m_p_graficos_dia_acima.xls');
horas = xlsread('horas.xls');

```

```

acima = sum(g_dia);
set(handles.normal, 'String', acima);

bar(horas, g_dia,'r');
xlabel('Horas', 'FontSize', 14);
ylabel('Litros ( L )', 'FontSize', 14);
title('Consumo Diário', 'FontSize', 14);
if (acima < 1200)
    title('Consumo Diário (Faixa 1)', 'FontSize', 14);
end
if (acima > 1200)
    title('Consumo Diário (Faixa 2)', 'FontSize', 14);
end
grid on;

%=====
% Função que mostra o gráfico dos litros abaixo da média
%=====
function g_mes_Callback(hObject, eventdata, handles)

g_dia = xlsread('m_p_graficos_dia_normal.xls');
horas = xlsread('horas.xls');
ideal = sum(g_dia);
set(handles.ideal, 'String', ideal);

bar(horas, g_dia,'b');
xlabel('Horas', 'FontSize', 14);
ylabel('Litros ( L )', 'FontSize', 14);
title('Consumo Diário Ideal (Faixa 1)', 'FontSize', 14);
grid on;

```

### CODIGO GRAFICO MENSAL

---

```

%=====
% Função que mostra o gráfico dos litros acima da média
%=====

function g_dia_Callback(hObject, eventdata, handles)

g_mensal = xlsread('m_p_graficos_mensal_acima.xls');
dias = xlsread('dias.xls');
acima = sum(g_mensal);

```

```

set(handles.normal, 'String', acima);

bar(dias, g_mensal,'r');
xlabel('Dias', 'FontSize', 14);
ylabel('Litros ( L )', 'FontSize', 14);
title('Consumo Mensal (Faixa 2)', 'FontSize', 14);
grid on;

%=====
% Função que mostra o gráfico dos litros abaixo da média
%=====

function g_mes_Callback(hObject, eventdata, handles)

g_mensal = xlsread('m_p_graficos_mensal_normal.xls');
dias = xlsread('dias.xls');
acima = sum(g_mensal);
set(handles.ideal, 'String', acima);

bar(dias, g_mensal,'b');
xlabel('Dias', 'FontSize', 14);
ylabel('Litros ( L )', 'FontSize', 14);
title('Consumo Mensal Ideal (Faixa 1)', 'FontSize', 14);
grid on;

```

### CÓDIGO GRAFICO SEMANAL

---

```

%=====
% Função que mostra o gráfico dos litros acima da média
%=====
function g_dia_Callback(hObject, eventdata, handles)

g_semanal = xlsread('m_p_graficos_semanal_acima.xls');
semana = xlsread('semanal.xls');
acima = sum(g_semanal);
set(handles.normal, 'String', acima);

bar(semana, g_semanal,'r');
xlabel('Dias', 'FontSize', 14);
ylabel('Litros ( L )', 'FontSize', 14);
title('Consumo Semanal (Faixa 2)', 'FontSize', 14);
grid on;

%=====
% Função que mostra o gráfico dos litros abaixo da média
%=====
function g_mes_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```
g_semanal = xlsread('m_p_graficos_semanal_normal.xls');
semana = xlsread('semanal.xls');
acima = sum(g_semanal);
set(handles.ideal, 'String', acima);

bar(semana, g_semanal, 'b');
xlabel('Dias', 'FontSize', 14);
ylabel('Litros ( L )', 'FontSize', 14);
title('Consumo Semanal Ideal (Faixa 1)', 'FontSize', 14);
grid on;
```